

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

*Technická fakulta*

*Katedra materiálu a strojírenské technologie*

**Problematika svařitelnosti litin**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor: Michal Hůlka

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hůlka Michal

Silniční a městská automobilová doprava

### Název práce

Problematika svařitelnosti litin

### Anglický název

Problems of the cast iron weldability

---

### Cíle práce

- shromáždit literární poznatky o problematice svařování litin

### Metodika

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

### Osnova práce

1. Úvod
2. Rozdělení litin
3. Možnosti svařování litin
4. Závěr

**Rozsah textové části**

30

**Klíčová slova**

Svařování, litina, přídavný materiál

**Doporučené zdroje informací**

BERNASOVÁ, E.: Svařování. Praha, NTL, 1987, 199 s.

ČABELKA, J.: Zvaritelnost kovov a Zlatin. Bratislava, Veda, 1977, 445 s.

HRIVŇÁK, I.: Theory of Weldability of Metals and Alloys. Amsterdam, 1992, 372 s.

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T.: Svařování. Ostrava, V3B, 2005, 133 s.

LANCASTER, J., F.: Metallurgy of welding. Cambridge, 1999, 446 s.

Repair and Maintenance Welding Handbook. ESAB AB. 120 s.

RJABOV, V., R.: Svarka raznorodnych metallov i splavov. Moskva, 1984, 237 s.

ŠORŠOROV, M., CH., ČERNYŠOVA, T., A., KRASOVSII, A., I.: Ispytanija metallov na svarivajemost'. Moskva, Metallurgija, 1972, 240 s.

TROČUN, I., P.: Vnutrennyje usilija i deformacii pri svarke. Moskva, 1964, 246 s.

ŽÁK, J., NOVÁK, M.: Teorie svařování. Brno, VUT, 1988, 142 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

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce bylo přiblížit a popsat problematiku svařitelnosti litin. V kapitole „Úvod“ je seznámení se samotnou problematikou a důvody, za jakých se litina sváří. V další kapitole „Rozdělení litin“ jsou detailně popsány druhy litin, které existují a dají se svařovat.

Následuje kapitola „Možnosti svařování“, ve které jsou popsány metody a druhy svařování. Popsáno je svařování plamenem, elektrickým obloukem a metodou WIG. Dále popsány druhy svařování a to za tepla, polotepla a za studena. Ke konci kapitoly je popsán přídatný materiál používaný při daných technologiích. Kapitola „Závěr“ shrnuje danou problematiku a ukazuje výhled do budoucna.

**Klíčová slova:** svařování, litina, přídatný materiál

**Summary:** The purpose of this bachelor thesis was to show and describe the problems of weldability of cast irons. In the chapter "Introduction" will familiarize itself with the problems and reasons under what circumstances, cast iron welds. In the next chapter "division of cast iron" are described in detail types of cast iron that exist and can be welded.

The following chapter "Options welding" describes the methods and types of welding. Described is a welding flame, arc and TIG. Also described types of welding and hot and cold and semicold. At the end of the chapter describes the additional material used for a given technology. The chapter "Conclusion" summarizes the issues and shows a view of the future.

**Key words:** welding, cast iron, additional material

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Problematika svažitelnosti litin“ vypracoval samostatně za pomoci odborné literatury, uvedené v seznamu literatury a za odborných konzultací s lidmi, kteří dané problematice rozumí.

V Praze dne .....

Podpis autora .....

### **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu Pavlu Urbanovi za poskytnutí cenných informací a za čas, který mi při konzultacích věnoval. Dále bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Petru Hraběmu Ph.D. za připomínky a rady v průběhu psaní práce.

## **Obsah:**

1	Úvod.....	1
2	Rozdělení litin: .....	2
2.1	Litiny bílé (karbidické).....	2
2.2	Litiny grafitické.....	2
2.2.1	Litina s lupínkovým grafitem GJL (LLG).....	2
2.2.1.1	Použití.....	4
2.2.2	Litina s kuličkovým grafitem – GJS (LKG).....	4
2.2.2.1	Použití.....	5
2.2.3	Litina s červíkovitým grafitem – GJV.....	6
2.2.3.1	Použití.....	7
2.2.4	Temperovaná litina – GJM.....	7
2.2.4.1.1	Temperovaná litina s bílým lomem.....	7
2.2.4.1.2	Temperovaná litina s černým lomem.....	8
2.2.4.2	Použití.....	9
2.2.5	Legovaná litina.....	10
3	Možnosti svařování litin.....	11
3.1	Metody svařování.....	11
3.1.1	Svařování plamenem.....	12
3.1.2	Svařování elektrickým obloukem.....	13
3.1.3	Svařování metodou WIG.....	15
3.2	Svařitelnost jednotlivých druhů litin.....	16
3.2.1	Svařitelnost litiny s lupínkovým grafitem.....	17
3.2.2	Svařitelnosti litiny s kuličkovým grafitem.....	19
3.2.3	Svařitelnost bílé litiny.....	20
3.2.4	Svařitelnost temperované litiny.....	20
3.3	Přehled druhů svařování vhodných pro litiny.....	21
3.3.1	Svařování litiny za tepla.....	21
3.3.1.1	Technologie svařování litiny plamenem za tepla.....	22
3.3.1.2	Technologie svařování litiny za tepla elektrickým obloukem.....	24
3.3.2	Svařování litiny za polotepla.....	26
3.3.3	Svařování litiny za studena.....	26
3.3.3.1	Technologie svařování litiny za studena elektrickým obloukem.....	27
3.4	Přídavný materiál.....	27
4	Závěr.....	30

# 1 Úvod

Snaha o svařování různě porušených dílů z litiny a ocelolitiny je stejně stará, jako svařování samo. Vynikající vlastnosti litiny ji předurčily k nejširšímu použití. Ani litina ale nevydrží všechno a pak začínají problémy s opravami.

Relativně vysoký obsah uhlíku v litinách velmi výrazně ovlivňuje svařitelnost. Proto jsou používány různé triky, které záporné vlastnosti jako je např. malá pružnost a křehkost dokážou při svařování obejít.

Svařování litiny se zásadně liší od běžného svařování oceli. To tedy znamená, že ne každý dobrý svářeč oceli je také dobrým svářečem litiny. Svařováním nejen zachraňujeme materiál, nýbrž i šetříme pracovní čas nutný pro výrobu nového odlitku.

Většinou svařujeme trhliny a praskliny způsobené provozem stroje, v němž se litá část nachází. Vznikají opotřebováváním, přemáháním, popraskáním, požárem apod. Méně často se vyskytují trhliny vzniklé vnitřním pnutím, nejvíce v přechodech průřezů různé tloušťky, např. mezi paprsky a věncem kol řemenic, ozubených kol atp.

Činitelů, které mají vliv na svařitelnost a použití svařeného odlitku, je mnoho. Před rozhodnutím o opravě či zmetkování je důležitý rozsah všech závad, chemické složení odlitku, tvar odlitku, tj. průřezové změny, tloušťka stěn, materiál, váha a členitost odlitku. Naproti tomu je nutno porovnat okolnosti, za nichž se odlitu používá, což znamená hlavně druh namáhání, tlak, teplota atd. Rozhoduje zde i přístupnost k místu závady, což podmiňuje kvalitu svaru. Rozhodnutí, má-li se odlitek svařovat, závisí také na ceně odlitku, spěšnosti či nutnosti svařovaného odlitku, stupni pracnosti a konečně i na tom, zda lze vadný odlitek nahradit novým.



## 2 Rozdělení litin:

Struktura litin je tvořena primární fází a eutektikem. Při tuhnutí podle stabilního systému vzniká grafitické eutektikum, které je tvořeno austenitem a uhlíkem, jenž je vyloučený v některé z morfologických forem grafitu. Tyto litiny se nazývají litiny grafitické. V další struktuře, která vznikla rychlým ochlazením, není přítomen volný grafit a takové litiny se nazývají bílé neboli karbidické, jenž jsou základem pro výrobu temperované litiny. Přejídnový typ mezi grafitickými a bílými litinami tvoří tzv. maková litina, která obsahuje jak grafitické, tak metastabilní eutektikum. Tato struktura se obvykle pokládá za nežádoucí. Základním kriteriem pro určení druhu litin je zejména tvar vyloučeného grafitu. [2]

### 2.1 Litiny bílé (karbidické)

Bílé litiny krystalizují v soustavě nestabilní za vzniku cementitu ve výsledné struktuře. Cementit je velmi tvrdý a křehký a činí bílou litinu prakticky nesvařitelnou a neobrobitelnou. Protože se však bílá litina používá hlavně jako výchozí materiál pro výrobu oceli či temperované litiny, je potřeba svařování bílé litiny z praktického hlediska zanedbatelná.

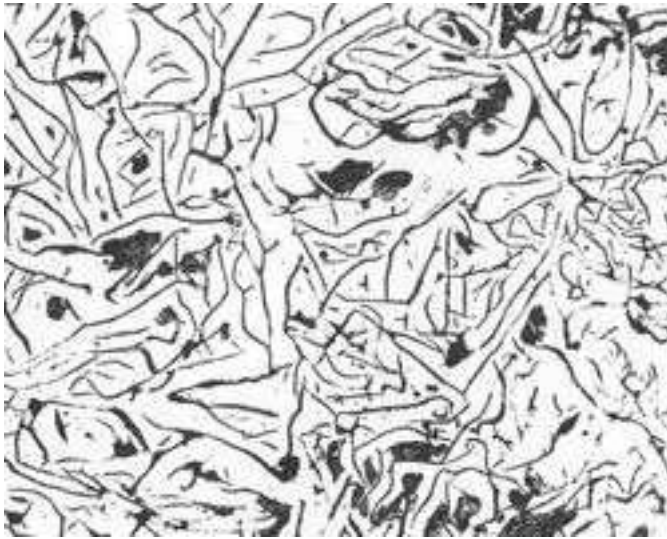
### 2.2 Litiny grafitické

Grafitické litiny krystalizují dle stabilní soustavy za vzniku grafitu ve výsledné struktuře. Struktura grafitických litin je tvořena základní kovovou maticí, ve které je uložen grafit. Rozložení a tvar grafitu zásadním způsobem určuje vlastnosti grafitické litiny. Protože grafit v kovové matici způsobuje snížení nosného průřezu, je jasné, že největší vrubový účinek má tvar lupínkový, nejmenší naopak tvar zrnitý.

#### 2.2.1 Litina s lupínkovým grafitem GJL (LLG)

Nejčastěji se její chemické složení pohybuje okolo 2,5 až 3,5% uhlíku, do 3,5% křemíku, 0,4 až 0,8% manganu, 0,2 až 1,2% fosforu a 0,08 až 0,12% síry. Litina s lupínkovým grafitem, dříve nazývaná šedá litina, obsahuje grafit ve tvaru prostorových útvarů, podobných zelené hlávce, které na metalografickém výbrusu mají tvar lupínků (viz. obr.1). Délka lupínků je podstatně větší než jejich tloušťka a konec lupínků je ostrý.

Obr.1. Struktura litiny s lupínkovým grafitem



Zdroj: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/graphics/l1gaa.jpg>

Mechanické vlastnosti litiny s lupínkovým grafitem jsou ovlivněny především chemickým složením, rychlostí ochlazování, hrubozrnností struktury, dispersitě a především obsahem perlitu. Tyto dva faktory určují zejména konečnou podobu matrice litiny (podíl feritu a perlitu, popř. vznik ledeburitu). Chemické složení ovlivňuje také polohu eutektického bodu, kterou určuje tzv. stupeň eutektičnosti.

Čím má litina vyšší relativní pevnost a nižší relativní tvrdost, tím ji považujeme za kvalitnější. Pro hodnocení kvality se používá celá řada kritérií. Litina s lupínkovým grafitem je materiálem s velkou citlivostí na rychlost ochlazování. Modul pružnosti litin rovněž souvisí se strukturou, tj s pevností a tvrdostí. Čím je vyšší modul pružnosti, tím vyšší je i pevnost. Modul pružnosti se pohybuje obvykle kolem  $0,8-1,4 \cdot 10^5$  MPa. Tažnost litiny se při zkouškách obvykle nezjišťuje a je nižší než 1%. Pevnost v tlaku je až čtyřikrát vyšší než pevnost v tahu a pohybuje se kolem hodnot 600-1100 MPa. Čím nižší je pevnost v tahu, tím vyšší je poměr mezi pevnostmi. Na základě tohoto poznatku by se litinové součástky konstruované z litiny s lupínkovým grafitem měli konstruovat tak, aby kritické průřezy byly namáhány tlakovým napětím.

### 2.2.1.1 Použití

V praxi se často litina rozděluje takto:

1. **komerční a stavební litina** – nekladeny zvláštní požadavky, např. vodovodní a plynová potrubí, poklopy, mříže, sloupy, kamna apod., tenkostěnné odlitky se lijí s větším obsahem fosforu, který činí litinu tekutější
2. **strojní litina na součástky strojů** – nekladeny zvláštní pevnostní požadavky, armatury, víka, menší skříně
3. **strojní litina na těžké součástky** – lože soustruhů, rámy frézek apod.
4. **kompresorová nebo válcová litina** – vyžaduje se pevnost, tvrdost, zaručená hustota, na bloky, válce kompresorů a spalovacích motorů
5. **měkká litina na řemenice** – žádá se malé smrštění a vyšší obsah grafitu, na různé složité rámy strojů, řemenice

### 2.2.2 Litina s kuličkovým grafitem – GJS (LKG)

Litina s kuličkovým (globulárním) grafitem (podle staršího označení tvárná litina) obsahuje ve struktuře grafit ve formě kuliček (viz. obr.2). Z hlediska vlastností litiny je ideálním tvarem dokonalá kulička, často se však vyskytuje grafit „nedokonale zrnitý“. Eutektická buňka je oblast, příslušející jednomu útvaru grafitu – jedné kuličce. [3]

*Obr.2 Struktura litiny s kuličkovým grafitem*



Zdroj: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/graphics/obr14c.jpg>

K růstu kuličkového grafitu dochází po modifikaci litiny danými prvky. Jako modifikačního prvku se používá výhradně hořčíku, případně společně s cerem a dalšími kovy vzácných alkalických zemin. Obsah hořčíku, který je rozpuštěn po proběhnutí odsíření, desoxidací reakcí a dalších ztrát se nazývá zbytkový hořčík. Pro dosažení kuličkovitého tvaru hořčíku je nutný obsah zbytkového hořčíku minimálně 0,025%. Obvykle se v litině nachází 0,03-0,06% hořčíku.

Mechanismus vytváření kuličkového grafitu se snaží vysvětlit mnoho teorií. Jednou z nejrozšířenějších teorií je teorie růstu grafitu difusí uhlíku přes obálku austenitu. Předpokládá se, že v důsledku větší rychlosti růstu austenitu je částice grafitu uzavřena v obálce tvořené austenitem. Při přechlazení pod rovnovážnou eutektickou teplotou, při níž krystalizace probíhá, se v systému vytvoří koncentrační shluky uhlíku. V důsledku koncentračního spádu v austenitové obálce pak dochází difusí uhlíku k dalšímu růstu útvaru grafitu.

Mechanické vlastnosti jsou závislé na struktuře základní kovové hmoty. Litiny s feritickou strukturou mají velmi dobré plastické a dynamické vlastnosti. Perlit ve struktuře způsobuje zvětšení pevnosti. Zvýšení podílu perlitu se dosahuje při vyšším obsahu manganu nebo pomocí legur, stabilizující perlit (např. měď). U litiny s kuličkovým grafitem je nutné udržovat co nejnižší obsah fosforu, karbidotvorných prvků a nečistot, které významně snižují plastické vlastnosti. Modul pružnosti je u litin s kuličkovým grafitem vyšší než u litin s lupínkovým grafitem a pohybuje se v rozmezí  $1,6-1,85 \cdot 10^5$  Mpa.

### **2.2.2.1 Použití**

Dle použití můžeme litiny s kuličkovým grafitem rozdělit na:

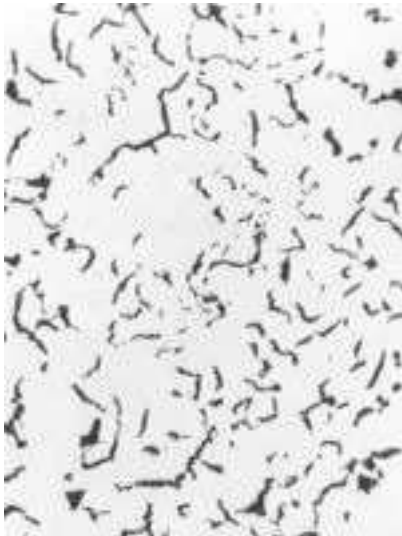
- Litinu pro běžné použití
- Litinu pro práci za nízkých teplot
- Litinu s nejvyšší pevností

Obecně se výše uvedené typy litin používají na dynamicky namáhané odlitky v automobilovém průmyslu, v zemědělství apod.

### 2.2.3 Litina s červíkovitým grafitem – GJV

Červíkovitý grafit má podobnou morfologii jako grafit lupínkový viz obr.3. Ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem jsou však útvary grafitu kratší, tlustší a jejich konce jsou zaobleny. Litina s červíkovitým grafitem obvykle obsahuje též určité množství lupínkového nebo kuličkového grafitu. Matrice bývá nejčastěji perlitická, feritická, či kombinace obou složek. Chemické složení těchto litin se pohybuje okolo 3,2 až 4,2% C, 1,5 až 4% Si, 0,4 až 0,8% Mn, pod 0,1% P, pod 0,02% S a tato litina není v ČR dosud normalizována.

*Obr.3 Struktura litiny s červíkovitým grafitem*



Zdroj: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/graphics/obr14d.jpg>

Červíkovitý grafit vzniká obvykle ve dvou případech:

- Při modifikaci malým množstvím sferoidizačních prvků, které nezajistí vznik dokonale kuličkového grafitu
- Za přítomnosti některých antiglobularizačních prvků – obvykle titanu, případně hliníku, které zablokují tvar grafitu v červíkovité podobě i při poměrně vysokém obsahu hořčíku

Červíkovitý grafit také vzniká za podmínek rovnováhy mezi obsahem prvků podporujících a nepodporujících růst kuličkového grafitu.

Mechanické vlastnosti této litiny stojí mezi vlastnostmi litiny s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Kombinací vlastností předchozích druhů litin, předurčujeme tuto litinu na výrobu tvarově složitých odlitků, pro které nestačí litina s kuličkovým grafitem svými slévárenskými vlastnostmi a litina s lupínkovým grafitem svými mechanickými vlastnostmi. Další vhodné použití této litiny je na mechanicky namáhané odlitky pracující v podmínkách velkých tepelných rázů. Pevnost v tahu se pohybuje někde kolem 400 až 600 MPa

### **2.2.3.1 Použití**

Hlavní aplikací litiny s červíkovitým grafitem jsou odlitky pro automobilový průmysl (hlavy válců, výfuky, ventilová pouzdra, pístní kroužky, bubny brzd, bloky válců apod.).

### **2.2.4 Temperovaná litina – GJM**

Temperovaná litina (dříve kujná) je slitina železa s uhlíkem a obsahuje také křemík, mangan, fosfor a síru. Je houževnatá a snadno obrobitelná. Vyrábí se temperováním, což je dlouhodobé žíhání, z bílé litiny. Podle chemického složení, teploty a doby temperování rozeznáváme dva druhy temperovaných litin a to:

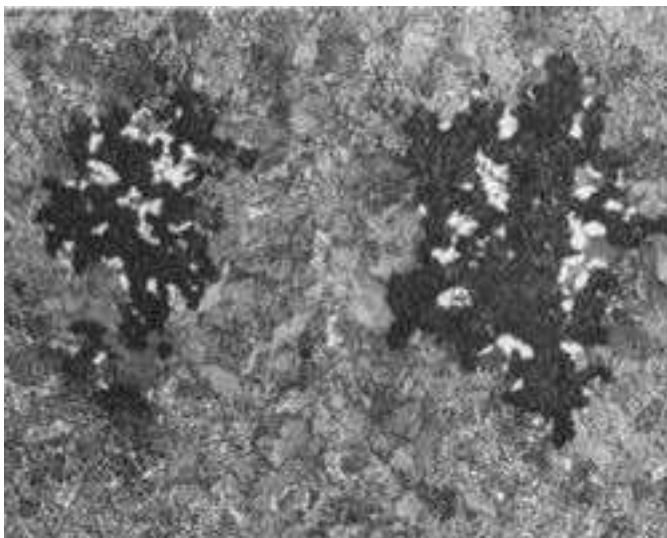
- temperovaná litina s bílým lomem (vzniká oduhličením při temperování, velmi dlouhé tepelné zpracování při vysokých teplotách)
- temperovaná litina s černým lomem (cementit se rozpadá na tuhý roztok austenit či ferit a na grafit)

#### ***2.2.4.1.1 Temperovaná litina s bílým lomem***

Temperování na bílý lom probíhá při teplotách okolo 1050 °C. Povrch temperované litiny je ochuzen o uhlík, a proto je lom bílý. Ochuzením povrchu o uhlík povrchu vzniká koncentrační spád uhlíku od povrchu k jádru, který umožňuje další přesun atomů uhlíku z jádra na povrch odlitku. Při ochuzování uhlíku se snižuje obsah uhlíku v austenitu. Takto porušená rovnováha mezi austenitem a cementitem se vyrovná rozpouštěním cementitu (a jiných karbidů) v austenitu. Tento proces začíná nejdříve na povrchu odlitku a v dalších etapách ústí k jádru.

Ochlazením litiny po temperování na místech, kde je austenit ochuzený o uhlík, nastává jeho překrystalizace na ferit. Ve vnitřních, méně oduhličených vrstvách vzniká směs feritu a perlitu. Tam, kde je uhlíku dostatek vzniká grafit s pavoukovitým tvarem. Doba temperování dosahuje několik desítek hodin (běžně kolem 50–70 hod.). Využívá se nejčastěji pro tenkostěnné odlitky s tloušťkou stěny maximálně 6 mm.

*Obr.4 Struktura temperované litiny s bílým lomem*



Zdroj: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/graphics/obr33bb.jpg>

#### **2.2.4.1.2 Temperovaná litina s černým lomem**

Temperovaná litina s černým lomem se vyrábí dvoustupňovou grafitizací. První stupeň probíhá při teplotách okolo 950°C, dokud se úplně nerozpadne ledeburitický, popřípadě sekundární cementit na austenit a temperovaný uhlík (vločkového tvaru). Poté nastává ochlazování na teplotu druhého stupně a setrvání na teplotě. Tady začíná rozpad perlitického cementitu na ferit a temperový uhlík. Následuje pomalé ochlazení, kvůli neporušení stabilní rovnováhy. Mikrostrukturu pak tvoří feritická matrice a grafit.

Zvláštním typem je temperovaná litina s černým lomem a perlitickým základem. Proveďte se první stupeň (ohřev na teplotu okolo 950°C) a po té co se struktura rozpadne na austenit a temperovaný vločkový grafit, se odlitek ochladí v prostředí proudícího vzduchu. Při tomto procesu se přemění austenit na perlit. Poté se litina popouští při teplotách nižších než je  $A_1$ . Podle zvolené teploty se získá matrice kuličkového nebo lamelárního perlitu s určitým podílem feritu, který sice zlepšuje tažnost, ale snižuje pevnost v tahu.

*Obr.5 Struktura temperované litiny s černým lomem*



Zdroj: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/graphics/obr34bb.jpg>

#### **2.2.4.2 Použití**

Nevýhodou všech temperovaných litin je jejich špatná zabíhavost a velká smršťivost. Proto se nepoužívají na velké odlitky. Temperované litiny se uplatňují zejména při výrobě středně mechanicky namáhaných součástek, hlavně pro součástky automobilů, zemědělských strojů, vagónů, lokomotiv apod.



## 2.2.5 Legovaná litina

Tvoří jen malou část produkce litin cca 5%. Dělí se na:

- nízkolegované (u hliníkové litiny legované hliníkem získáme čistě perlitickou strukturu a bainitickou litinu)
- vysokolegované
  - žáruvzdorné
  - korozivzdorné
  - otěruvzdorné
  - se zvláštními fyzikálními vlastnostmi

Cílem je dosáhnout vlastností, které nejsou u nelegovaných litin dosažitelné.

Legury nesmí ovlivnit vylučování grafitu, mají za cíl především dosáhnout optimální kombinace pevnosti, houževnatosti, případně lepších technologických, fyzikálních či chemických vlastností.

## 3 Možnosti svařování litin

### 3.1 Metody svařování

Všeobecně lze říci, že litinu je možno svařovat použitím většiny svářecích způsobů. Obvykle se litina svařuje:

- plamenem pomocí přídavného materiálu
- elektrickým obloukem různými plášťovými elektrodami
- způsobem WIG

Některé způsoby lze použít, ačkoliv se málo využívají:

- svařování pod plynným tavidlem MAG a MIG
- svařování plněnými dráty
- svařování pod elektrovodivým tavidlem

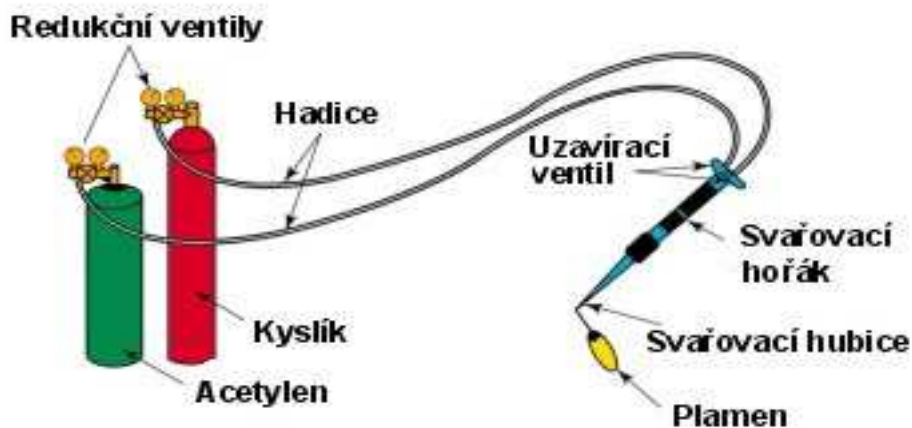
Tyto pro sériovou práci velmi vhodné způsoby však vyžadují použití určitých prostředků. Jiné způsoby, jako elektronické bombardování, plazma, se dosud prakticky nemohly uplatnit.

Naproti tomu mechanické způsoby svařování explozí, tlakem a třením se pro svařování litin nepoužívají.

### 3.1.1 Svařování plamenem

Svařování plamenem (viz obr.6) je jedním z nejstarších způsobů svařování. Zdrojem tepla je zpravidla kyslíkoacetylenový plamen, kterým se dosahuje roztavení svařovaného kovu.

Obr. 6 Svařování plamenem



Zdroj: [http://bahr.kahstudio.cz/metody\\_pic/2\\_040701.jpg](http://bahr.kahstudio.cz/metody_pic/2_040701.jpg)

Při svařování plamenem se dosahuje tavení základního a přídavného materiálu plamenem, ve kterém hoří směs hořlavého plynu a kyslíku. Jako hořlavého plynu se nejvíce používá acetylénu, protože acetylenokyslíkový plamen je pro svou vysokou teplotu vhodný pro svařování všech kovů běžných v technické praxi. Acetylén se vyrábí rozkladem karbidu vápenatého působením vody. Má charakteristický zápach a je o málo lehčí než vzduch. Podobně jako ostatní hořlavé plyny tvoří se vzduchem výbušnou směs. Proto nesmí nikde ucházet. Unikající acetylén se pozná i čichem. Netěsnost se zjišťuje potíráním mýdlovým roztokem nebo vodou. Zásadně se nesmí zjišťovat netěsnost plamenem, tedy ani svařovacím. Pro dosažení vysoké teploty plamene je třeba přidávat k acetylénu kyslík.

Kyslík je plyn sice nehořlavý, ale hoření podporující. Je bez zápachu a je těžší než vzduch. Vyrábí se obvykle ze zkapalněného vzduchu nebo elektrolyticky z vody. Acetylén i kyslík se zpravidla dodávají v ocelových lahvích opatřených lahvovými ventily. K zamezení záměny technických plynů jsou láhve opatřeny barevným pruhem a jejich lahvové ventily se liší tvarem a závitem boční přípojky.

Kyslík se plní do lahví stlačováním kompresorem. Acetylén nelze takto plnit, protože by při stlačování nastal jeho rozklad a exploze.

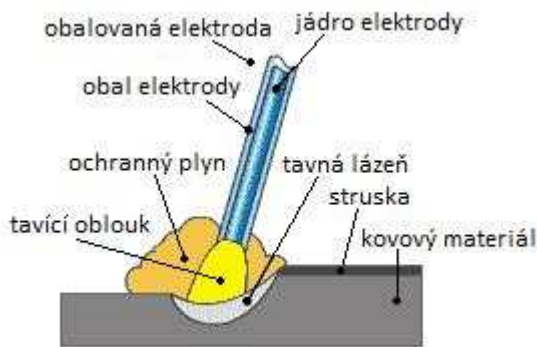
Proto láhve pro acetylén jsou naplněny speciální pórovitou hmotou, která se napojuje acetonem. Aceton váže do láhve vtlačovaný acetylén tak, že nemůže nastat jeho rozklad. Normální láhve mají vodní obsah 40 litrů. Také kyslík může být nebezpečný svému okolí, přijde-li do přímého styku s olejem nebo s jiným tukem, protože rychlé okysličení tuku vede k explozi. Proto musí být všechna místa, kudy kyslík prochází, chráněna před zamaštěním. Láhve musí být chráněny před nepřípustným ohřátím i slunečními paprsky.

Svařovací zařízení s lahvovým acetylémem se skládá z láhve s acetylémem, láhve s kyslíkem, redukčního ventilu pro acetylén, redukčního ventilu pro kyslík, dvou gumových hadic a svařovacího hořáku. Zařízení s vyvíječem má místo láhve s acetylémem vyvíječ. V ocelových lahvách je kyslík stlačen pod tlakem 125 až 150 MPa a acetylén pod tlakem 15 až 20 MPa. Není tady prakticky možné používat těchto vysokých tlaků přímo ke svařování kovů, nehledě na to, že postupným odebíráním plynu se tlak stále mění. Pro správné seřízení svařovacího plamene je zapotřebí, aby použité tlaky byly stálé a přiměřeně snížené. Tuto proměnu vysokých a proměnlivých tlaků na nízké a stálé obstarávají tzv. redukční ventily. Redukční ventil pro kyslík se od redukčního ventilu pro acetylén liší způsobem připojení k lahvovému ventilu. Redukční ventil pro kyslík se připojuje přesuvnou maticí, kdežto pro acetylén třmenem a šroubem. Před připojením je nutno se vždy přesvědčit, je-li v přesuvné matici kyslíkového redukčního ventilu a v nákrůžku lahvového ventilu pro acetylén nepoškozené fibrové těsnění.

### **3.1.2 Svařování elektrickým obloukem**

Tato metoda (viz. obr. 7) se zpravidla užívá u ručního svařování, kde jsou převážně používány obalované elektrody. Svařovací oblouk hoří mezi základním materiálem a obalenou elektrodou. Složení elektrod je z kovového jádra a obalu. Kovovou elektrodou se současně při hořícím oblouku dodává do místa svaru přídavný kov, který se odtavuje z jádra elektrody (výjimku zde tvoří plněné elektrody). Obal se na kovový drát nanáší máčením nebo lisováním. Je tvořen směsí zejména struskotvorných, plynotvorných, legujících a stabilizačních látek jako je: křemen, kaolín, dolomit, vápenec, kazivec, ze železných rud – nikl, mangan apod., a z feroslitin.

Obr.7 Svařování elektrickým obloukem



Zdroj: [http://www.toolscomp.cz/soubory-ve-skladu/Technologie/Pohled\\_do\\_svarovani-MMA/MMA\\_obr1.jpg](http://www.toolscomp.cz/soubory-ve-skladu/Technologie/Pohled_do_svarovani-MMA/MMA_obr1.jpg)

Legury zušlechťující vyrobený svar nejsou v jádru elektrody, ale v obalu. Svařovací proud závisí na typu a průměru elektrody, tloušťce svařované stěny, způsobu svařování a na svařitelnosti litiny.

U elektrod pro svařování litiny se rychlost svařování posuzuje podle nepřerušované délky housenky navařené v jednom tahu. Čím větší je průměr elektrody, tím je délka navařené nepřerušované housenky kratší.

Rozhodující je též celková plocha svaru skládajících se buď z několika housenek vedle sebe, nebo několika vrstev na sobě. Při přílišném místním ohřátí vznikají trhliny buď vedle svaru nebo i přes svar. Přípustná plocha jedné vrstvy, navařené bez přestávky, závisí na tloušťce navařované stěny.

Postup při svařování litiny se podřizuje plně hlavnímu úkolu, tj. požadavku zmenšení pnutí vznikajícího teplem svařovacího oblouku. Housenky se kladou jen „šňůrovitě“, tj. neroztírají se po celé ploše spoje jako při svařování oceli. Tím se umožňuje, aby se okolí svaru mohlo volně roztáhnout po každé navařené housence a částečně vyžítat předchozí housenky. Aby se zmenšila vnitřní pnutí, je důležitý správný tvar a velikost rozevřeného svarového úkosu. Při svařování litiny s ocelí se zmenšuje úkos u oceli na 30°, kdežto u litiny zůstává na 35 až 45 stupních.

Oblouk nové elektrody se zapaluje jen na návarovém kovu předešlé housenky. Při navařování se řídí oblouk elektrody tak, aby asi tři čtvrtiny tepla oblouku zasahovalo předchozí housenku. Každou novou housenku je nutno ihned pečlivě očistit od strusky a roztemovat. Temuje se lehkými údery zaoblené špičky kladiva nebo tužlíkem.

Prvé housenky návaru neželeznými elektrodami není třeba temovat, zejména svařují-li se krátké housenky.

Naproti tomu u elektrod s ocelovým jádrem je třeba temovat hlavně počáteční housenky. Smrštění litiny je dvakrát větší než oceli. Temování mimo jiné snižuje pórovitost svaru.

Charakteristické znaky oblouku jsou:

- malý anodový úbytek napětí
- malý potenciální rozdíl na elektrodách
- proud řádově ampéry až stovky ampér
- velká proudová hustota

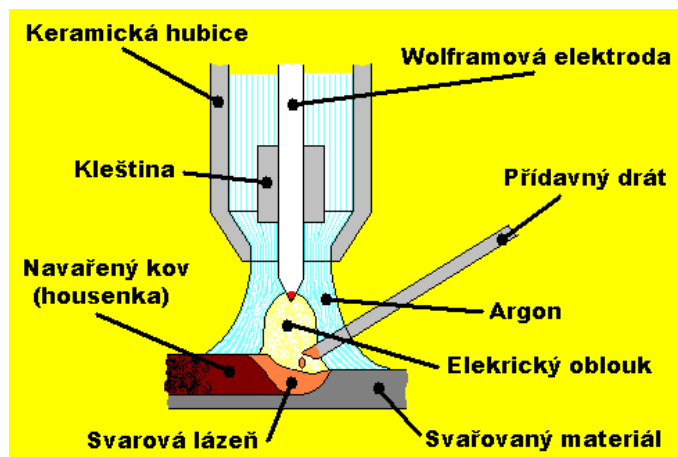
Obal elektrody zajišťuje:

- stabilní hoření elektrického oblouku
- ochranu svařovaného kovu před okolní atmosférou
- legování tavné lázně

### 3.1.3 Svařování metodou WIG

Použitím této metody hoří oblouk mezi základním materiálem a netavící se elektrodou viz. obr.8. Jako ochranný plyn se používá argon, helium nebo jejich směsi. Plyn zajišťuje ochranu jak elektrody, tak i tavné lázně. Plyn musí obsahovat 99,995 % čistoty. Svařovat lze s použitím přídavného materiálu, který se aplikuje ručně ve formě tyčinek.

Obr.8 Svařování metodou WIG



Zdroj: [http://www.svarbazar.cz/phprs/image/200803131900\\_tig\\_princip2.gif](http://www.svarbazar.cz/phprs/image/200803131900_tig_princip2.gif)

Svařovací hořáky jsou nejzatíženější částí svařovacích zařízení. Zajišťují přívod elektrického proudu k elektrodě, přívod a usměrnění ochranného plynu, fixování polohy wolframové elektrody, přívod a odvod chladicí vody. Hořáky rozdělujeme na chlazené procházejícím plynem do cca 250 A a vodou chlazené (pistolové) hořáky od 350 až 500 A pro ruční svařování. Hořáky mají vyměnitelné kleštiny, velikost je daná svařovacím proudem, které zajišťují pevné upnutí a proudové napájení wolframových elektrod. Pevné upnutí je důležité z hlediska snížení přechodového odporu mezi kleštinou a wolframovou elektrodou. Kleštiny jsou vtačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu. Další tepelně zatíženou částí je plynová tryska, která usměrňuje proudění plynu do místa svařování. Keramické trysky se používají pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem nebo kovové, nejčastěji měděné a pochromované, jsou vhodné pro hořáky chlazené vodou. Průměr plynové trysky se volí podle velikosti průměru požadované elektrody. [4]

### **3.2 Svařitelnost jednotlivých druhů litin**

Litiny jsou prakticky svařitelné, spojují-li se s kovem stejného nebo podobného složení odborně dílensky zhotoveným svarem s vlastnostmi požadovanými pro daný účel. Dobrým svarem rozumíme souvislý spoj se strukturou složkou stejnou se základním materiálem, který má žádané mechanické vlastnosti.

Svařitelnost litin je až na malé výjimky obtížná a často velmi špatná. Některé druhy litin nejsou vůbec svařitelné. Tato nevýhoda částečně brzdí jejich další rozšíření. Zejména litina s lupínkovým grafitem zaujímá význačné místo mezi dnešními konstrukčními materiály, za něž vděčí více své výborné slévateľnosti než svým mechanickým vlastnostem, jež nejsou příliš příznivé. Zdokonalením výroby a zpracováním se mechanické vlastnosti litiny stále zdokonalují. Vyráběla-li se na začátku minulého století litina pevnosti 120 až 150 Mpa , v dnešní době dosahuje litina pevnosti dva až třikrát větší. Pronikavé zlepšení vlastností litiny, jehož bylo dosaženo novými způsoby zpracování, postavilo litinu na úroveň ostatních konstrukčních materiálů.

Svařitelnost však zůstává prakticky stejná, zdokonalují se jen metody svařování a zlepšuje se jakost přídavného materiálu. [1]

### 3.2.1 Svařitelnost litiny s lupínkovým grafitem

Přesto, že se litina s lupínkovým grafitem skládá ze stejných prvků jako ocel, jsou její vlastnosti a svařitelnost podstatně jiné, což způsobuje její větší obsah uhlíku, křemíku a ostatních prvků viz tab.1

Tab. 1 Rozdíl složení litiny s lup. grafitem a oceli [1]

Materiál	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Fe [%]
Měkká ocel	0,15	0,7	0,2	0,035	0,04	zbytek
Litina s lupínkovým grafitem	3	0,7	2,4	0,5	0,09	zbytek

Litina s lupínkovým grafitem tohoto složení je poměrně dobře svařitelná. Změny v tomto složení mají vliv buď na vlastní svařování nebo na strukturu základního materiálu.

Zvýší-li se obsah uhlíku nebo křemíku, ztěžuje se svařování především přítomností vločkového grafitu. Sníží-li se obsah těchto dvou prvků, zhorší se svařitelnost nepříznivou změnou struktury. Mangan asi do jednoho procenta nemá vliv na svařování, avšak potom zvyšuje tvrdost v přechodu svaru do základního materiálu. Také fosfor zvyšuje tvrdost, a tím i zkřehnutí a náchylnost svaru k praskání při chladnutí, přičemž však vlastní svařování ulehčuje, neboť zvyšuje tekutost a snižuje bod tavení. Síra rovněž zvyšuje tekutost svarové lázně, ale zhoršuje jakost litiny, hlavně její mechanické hodnoty. Proto se doporučuje před každou důležitou opravou zjistit chemické složení litiny, které má velký vliv na výběr nejvhodnější technologie i způsobu svařování, a tím i na úspěšnost opravy. Jednoznačně však nelze podle chemického složení předem určit stupeň svařitelnosti.

Obtížná svařitelnost vyplývá ještě z dalších vlastností litiny s lupínkovým grafitem. Litina s lupínkovým grafitem není houževnatá, ani pružná a nevyrovná proto deformace a pnutí vyvolané svařováním. Tyč průřezu např. 1 cm<sup>2</sup> je dobře svařitelná libovolnými způsoby, neboť se může libovolně roztahovat a smršťovat.

Čím větší je průřez materiálu, složitější tvar a členitost, tím větší jsou obtíže s vyšším pnutím, které nakonec způsobí trhlinu. Zahřeje-li se hořákem např. litinová deska uprostřed, nedovolí vlastnosti litiny vyrovnat vzniklé pnutí a deska praskne.

Proto je při svařování litiny s lupínkovým grafitem vždy nebezpečí, že vzniknou trhliny ve svaru a v jeho okolí vlivem roztažení nebo smrštění částí ohřátých svařováním.



K tomu přispívá i malá tepelná vodivost litiny s lupínkovým grafitem, takže teplo se šíří pomalu a vznikají velké tepelné rozdíly.

Litina se při natavování chová zcela jinak než ocel. Při tavení nepřechází v těstovitý stav, nýbrž náhle přechází z tuhého do kapalného skupenství a při ochlazování opět náhle tuhne. Tato vlastnost vyžaduje, aby se svařovalo jen v poloze vodorovné shora. Krom toho, ne vždy se podaří aby plyny rozpuštěné v litině unikly, takže svar je potom pórovitý a méně odolává pnutí.

Při rychlém chladnutí vzniká v tuhnoucí části bílá litina, která je křehká a náchylná k tvoření prasklin. Při tavení litiny vyhořívá uhlík a křemík, množství grafitu se tím zmenšuje, což může opět vyvolat vznik bílé litiny. Při svařování je nutno dbát, aby se nevyskytovala tvrdá místa, tj. je nutno volit vhodný přídavný materiál - elektrody a tepelné zpracování a zejména materiál předehřívát a ovládat chladnutí.

Roztavená litina také rychle oxiduje a pokrývá se vrstvičkou oxidů, které mají větší teplotu tavení (1350°C) než litina s lupínkovým grafitem (1100 až 1250°C).

Velmi špatně se svařují nebo jsou vůbec nesvařitelné odlitky, které byly dlouho vystaveny vysoké teplotě, zejména na otevřeném ohni (rošty apod.). To je tzv. „spálená“ litina. Při navařování housenky netvoří tavnou lázeň, ale roztavený kov se jen tak koulí a spojuje se v jednotlivé kuličky. Stáří odlitku není zásadně na závadu. Opravují se běžně odlitky z minulého století. Záleží však na druhu a době působení škodlivého prostředí. Např. u litinových armatur, které byly ve styku s přehřátou párou, nastává po krátké době „růst“ litiny. To znamená, že litina nabývá na objemu, křehne a drobí se. Pro dosažení úspěšné opravy je třeba předem znát alespoň přibližný stupeň svařitelnosti.

Zkoušky podle *tab.2* poskytují dostatečnou záruku o spolehlivosti zjištěného stupně svařitelnosti.

*Tab.2* Určení přibližné svařitelnosti [1]

Druh zkoušky	Výsledek svědčí o	
	Dobré svařitelnosti	Špatné svařitelnosti
Vnější prohlídka lomu	Jemnozrný lom s rovnoměrnou a čistou strukturou	Hrubozrný lom, pórovitá struktura s velkými vločkami grafitu
Barva lomu	Světle šedá	Tmavošedá až černá
Zkouška sekáním	Tříška se sbaluje	Tříška se drobí
Zkouška poklepem	Kovově zvoní vysokým tónem	Dutě zvoní
Návarová zkouška	Kapky kovu se dobře smáčejí a tvoří se tavná lázeň	Kapky kovu se sbalují bez vazby k základnímu materiálu
Spojení návarové housenky s litinou	Těžko se odsekává, vytrhávají se souvislé kusy litiny	Lehko se odloupne bez spojení s litinou nebo s malými kousky
Vzhled navařeného místa	Jemnozrný povrch	Pórovitý hrubozrný povrch
Barva tavné lázně	Rudá a tmavá	Ostře bílá
Výbrus	Jemně rozdělený grafit	Shluky grafitu

### 3.2.2 Svařitelnosti litiny s kuličkovým grafitem

Litina s kuličkovým grafitem se také obtížně svařuje. Vyznačuje se opět náchylností ke křehnutí a ztvrdnutí v přechodovém pásmu, na než působilo teplo svařování. Za vysoké svařovací teploty se vypaluje hořčík (přísada pro vytvoření litiny s kuličkovým grafitem) a litina se může v místě svaru při chladnutí změnit na litinu s lupínkovým grafitem, která má horší mechanické vlastnosti než litina s kuličkovým grafitem.

### **3.2.3 Svařitelnost bílé litiny**

Pro velkou tvrdost a křehkost je bílá litina téměř nesvařitelná, neboť v ní vznikají jak při svařování, tak při chladnutí trhliny. Jelikož se jí používá jako výchozího materiálu při výrobě oceli a temperované litiny, je potřeba svařování ojedinělá.

### **3.2.4 Svařitelnost temperované litiny**

Na svařitelnost temperované litiny má vliv množství perlitu nebo feritu v její struktuře. Rozhodující vliv na množství perlitu nebo feritu má chemické složení výchozí bílé litiny a průběh temperování. U perlitické litiny lze do tloušťky 8 mm dosáhnout úplného oduhličení a svařitelnost je potom dobrá. S přibývajícím tloušťkou přibývá uhlíku a svařitelnost je proto obtížná. Hlavním důvodem obtížnosti je, že svar a hlavně přechodová oblast jsou tvrdé a křehké, takže z těchto míst vznikají trhliny. Tvrdost a křehkost v pásmech ovlivněných svařováním jsou důsledkem ohřátí litiny teplem svařování nad 900°C. Tím se zde vliv temperování zruší a při ochlazování vzniká opět nežádoucí bílá litina. Proto při důležitých opravách perlitické (nad 8 mm tloušťky) a feritické litiny je po svařování nutné tepelné zpracování (předehřev, dohřev). Opravy vzhledu a méně důležité opravy nevyžadují tepelného zpracování, avšak svar i přechodové pásmo jsou obrobitelné pouze a jen broušením.

Temperovaná litina se dá dobře pájet měkkou a tvrdou pájkou a proto se jí nejčastěji používá. [1]

### **3.3 Přehled druhů svařování vhodných pro litiny**

Před rozhodnutím, jakého druhu svařování použijeme při opravě, je nutno přihlédnout k mnoha okolnostem, s kterými je svařovaný materiál těsně spjat. Záleží nejen na stupni svařitelnosti, kterou si na odlitku zjistíme, ale i na původu a rozsahu závady, přístupnosti k závadě, na tvaru, zejména na rozdílnosti průřezů, na tloušťce stěn, váze a objemu odlitku. Také provozní podmínky, v nichž je odlitek umístěný, jako je např. jeho namáhání, rázy, provozní teplota atd., ovlivní výběr postupu opravy. Tři nejpoužívanější způsoby svařování litiny lze krátce posoudit takto: Při svařování za tepla je oprava nejlepší jakosti a za studena je nejjednodušší a nejrychlejší za určitých podmínek tj. svary krátké ( $a=20$  mm a temovat), po ukončení tohoto svaru by měl svářeč udržet krátkodobě ruku na svaru.

#### **3.3.1 Svařování litiny za tepla**

Při svařování litiny za tepla se odlitek předehřeje na teplotu 500 až 650°C, která by při svařování neměla klesnout. Předehřátím se při svařování dosáhne hutného svarového kovu se strukturou původní litiny. Opracovatelnost i vzhled svaru se neliší od základního materiálu. Svařováním za tepla se dosahuje 70 až 100% hodnot mechanických vlastností původní litiny. Nevýhodou je velká spotřeba plynů, energie a malý výkon svařování, delší čas opravy, potřeba ohřívacích pecí a v neposlední řadě i značně zvýšená námaha svářeče.

Možnosti zborcení, opálení povrchu atp., které doprovázejí svařování za tepla, se zmenší, pokud je předehřátí místní. [1]

### 3.3.1.1 Technologie svařování litiny plamenem za tepla

Svařování litiny plamenem za tepla považují mnozí svářeči za jednodušší než svařování oceli. Dodržují-li se všechny náležitosti svařování litiny, je tento názor zcela oprávněný.

Svařuje se dvěma postupy:

- Svařování vpřed
- Svařování vzad

**Svařování vpřed:** svařovací tyčinka je vedena před hořákem ve směru svařování. Je to méně náročný způsob svařování, než vzad. Tímto postupem je větší nebezpečí nedokonalého svaru vlivem snížené ochrany tavné lázně.

**Svařování vzad:** svařovací tyčinka postupuje s hořákem, plamen je směřován na tavnou lázeň i na chladnou svar. Dochází tím k ochraně tavné lázně i tuhnutí svaru před nepříznivými účinky okolní atmosféry. Svařováním vzad dosáhneme kvalitnější svary, zaručené provaření kořene, menší pnutí a deformace.

Vnitřní bílý kužel plamene má být udržován od tavné lázně ve vzdálenosti 3-5 mm. Zásadně lze použít co největšího hořáku a tlusté přídavné tyčinky při zachování přiměřené velikosti tavné lázně. Jen pro svařování na svislé stěně se doporučuje použít malého hořáku a tenčí tyčinky. Při svařování tenkých lze první vrstvy položit způsobem vzad aby se snadněji spojily svařované plochy.

Velikost hořáku vyhovující tloušťce svařované stěny se udává spotřeba acetyleny podle velikosti použitého hořáku (např. hořák 2-4 má spotřebu 200 až 400 litrů za hodinu).

Svařovací plamen má být neutrální, popř. s nepatrným přebytkem acetyleny. Přebytek acetyleny zeslabuje vyhořívání křemíku, avšak může způsobovat pórovitost svaru. Plamen s přebytkem kyslíku, tj. oxidační, je pro svařování litiny škodlivý. Jen pro špatně svařitelnou litinu lze použít plamene s přebytkem kyslíku. Takovou litinu nelze vůbec svařovat s přebytkem acetyleny a je obtížné i s neutrálním plamenem.

Přebytek kyslíku však zvýší tvrdost litiny, a proto tam, kde se žádá dobrá obrobiteľnost řeznými nástroji, musí se poslední dvě až tři vrstvy svařovat s neutrálním plamenem, případně horní vrstvy přetavit plamenem s přebytkem acetyleny.

Na začátku svařování se na návarové plochy (zahřáté na 600 až 650°C) nanese tenká vrstva tavidla a roztaví se plamenem hořáku. Použije se jen vnější části plamene, aby se tavidlo rovnoměrně tavilo a povléklo tak celý povrch tekutou vrstvičkou. Rozehřátá tyčinka se ponoří do práškového tavidla.

Návarové plochy základního kovu musí být v místě svaru nataveny dříve, než se začne přidávat přídatná tyčinka. Tavná lázeň vytvořená působením tepla hořáku má být tak veliká, aby utavovala přídatnou tyčinku bez přímého působení plamene na ni. Nikdy se nemá kov odtavovat z tyčinky a nechávat kapat do tavné lázně. Na začátku svařování se tyčinka ponoří do tavné lázně, až když se na jejím konci objeví první kapka přídatné litiny. Tyčinkou ponořenou v tavné lázni se občas lehce potřou boční návarové plochy, a tím se i lehce pohybuje taveninou, aby se uvolnily plyny a nečistoty v tavné lázni. Tavenina se však nemá zbytečně vířit. Občas se má tyčinka z tavné lázně vyjmout a opět ponořit do tavidla a zpět do tavné lázně.

Svary mají být provedeny pokud možno v jedné vrstvě; při více vrstvách nemá délka vrstvy být delší než 5 až 8 centimetrů. Během svařování se má udržovat dostatečně velká tavná lázeň, která však nemá přesahovat plochu přibližně 40 až 70 cm<sup>2</sup>. Větší plochy proto dělíme na části, které lze nanést najednou.

Převýšení svaru je nutné, aby se vyčistil svarový kov a vyplavily všechny nečistoty. Přebytečné převýšení lze odstranit např. starým pilníkem dokud je svarový kov ještě tekutý. Ušetří se tím obrábění a získá se hustý a vzhledný povrch svaru.

### 3.3.1.2 Technologie svařování litiny za tepla elektrickým obloukem

Tento způsob je mnohem výkonnější než svařování plamenem, a proto se ho zpravidla používá pro opravy tlustostěnných odlitků. Od běžného svařování ocelovou elektrodou se liší jak způsobem odtavování tak i větším průměrem elektrody, větším proudem apod. Pokud je možné, používá se raději mezery mezi styčnými plochami (šířky asi 25 až 35 mm) než obvyklých V-úkosů.

Svařování se má začít elektrodami, které jsou menšího průměru než elektrody, jimiž se bude vyplňovat celý svar. První vrstva musí dobře a stejnoměrně natavit základnu tavné lázně. Po odtavení dvou až tří elektrod se drátem změní hloubka tavné lázně, která nemá být větší než 20 až 30 mm. Hloubka tavné lázně se má měřit častěji a podle výsledku se má řídit další postup svařování. Není-li hloubka dostatečná, zvětšuje se svařovací proud a zmenšuje se průměr elektrody. Přílišnou hloubku zmenšíme přidáním kousků litiny, např. zbytků elektrod, nebo odtavujeme pomaleji. Přídavné kousky litiny musím být čisté a přehřáté, protože chladné kousky litiny tavnou lázeň rozstříkují. Přidáním litinových třísek se způsobuje pórovitost. Kousky se vkládají na povrch tavné lázně a roztavují se elektrodou. Ponoří-li se do lázně, je nebezpečí, že se celé neroztaví. Vložením přídavných kousků do přehřáté lázně se zabrání pórovitosti. Přehřátou tavnou lázeň poznáme podle oslnivě bílé barvy a jiskřícího povrchu.

Během odtavování musí oblouk elektrody neustále natavovat hrany návarových ploch, aby se tavná lázeň dobře spojila se základním materiálem. Povrch lázně se musí plynule spojit s návarovými plochami bez vrubů. Pohyby elektrody ve svarové spáře se řídí podle šířky spáry a podle odtavovacího proudu, tj. také podle průměru elektrody. Při malém proudu a širší svarové spáře se elektroda střídavě pohybuje od jedné stěny ke druhé a téměř se jich dotýká. Při tlusté elektrodě a užší spáře se elektroda drží jen svisle a její výkyvy do stran jsou nepatrné. V každém případě je nutno se vyvarovat přílišného natavení hran a neustále háčkem odstraňovat z tavné lázně strusku a nečistoty.

Tavná lázeň musí chladnout odspodu, aby plyny, které jsou v ní rozpuštěné, mohly bezpečně uniknout. To je důležité hlavně u poslední vrstvy, na níž se po dokončení svařování vytvoří kůra. Je-li hloubka tavné lázně ještě značná (přes 25 mm), je nutno horní chladnoucí vrstvu probořit elektrodou a obloukem roztavit. [1]

Zárukou zdravého svaru je správná hloubka a teplota lázně. Aby tavná lázeň byla v celé ploše roztavená, nemají rozměry úseku přesahovat 50 až 60 cm<sup>2</sup> (nejvýše 70 cm<sup>2</sup>).

Je-li zavařovaná plocha větší než např. 70 cm<sup>2</sup>, rozděluje se na několik úseků, oddělených grafitovými deskami. Začíná se svařovat buď od hrany základního materiálu, nebo v nejnižší části celého úseku. Pokud tavná lázeň není přehřátá, svařuje se nepřetržitě tak, že se střídá více svářečů. Každý z nich má svůj kabel s kleštěmi a v odtavování se střídají.

Pro svařování elektrickým obloukem litinovými elektrodami se používá spíše stejnosměrného proudu. Elektroda se připojí na plus pól, svařenec na minus pól. V případě nutnosti lze svařovat i střídavým proudem. Nejvhodnější velikosti svařovacích proudů jsou udány v tab.3.

*Tab.3 Nejvhodnější velikosti svařovacích proudů*

Průměr elektrody v mm	4	6	8	10	12	14	16	20
Běžný proud v A	180 až 200	250 až 300	300 až 400	400 až 500	500 až 600	550 až 650	700 až 800	1000 až 1200
Největší proud v A	200 až 300	300 až 400	400 až 500	700 až 800	1000 až 1100	1200 až 1300	1500 až 1800	1800 až 2000

Obloukové napětí dosahuje přibližně 50 až 60 V proti napětí 20 až 35 V, jehož se používá obvykle při svařování oceli. Při stejném nastavení svařovacího proudu je to až dvakrát větší výkon svařovacího oblouku, avšak také dvojnásobné zatížení svařovacího zdroje. S tím nutno počítat při volbě svařovacích zdrojů, které se pro svařování používají. Litinovou elektrodou se svařuje nepřetržitě, a tím se doba zatížení zdroje blíží 100%, zatím co běžné zdroje jsou určeny jmenovitým výkonem pro 55% zatěžovací dobu. To je další příčina, proč volit větší svařovací zdroj. Také průřez přírodních kabelů se zvětšuje na 100 až 200 mm<sup>2</sup>.

Tavidlo, které se při svařování používá, se přidává lžící jednak před svařováním (např. se posype dno svarové drážky), jedna do tavné lázně během svařování. Mnozí svářeči neradi používají tavidla, avšak tím vzniká nebezpečí vadného svaru.

Při svařování litinovou elektrodou za tepla je důležité, aby byl snadný přístup k přehřátému odlitku, neboť svářeč se musí víc přiblížit ke svaru než při svařování plamenem. Chrání se azbestovými rukavicemi, maskou a štítem na držáku elektrod.



Pro zmírnění sálavého tepla se přikrývá přehřátý svarek azbestovou lepenkou, která se protrhne na místě, kde se svařuje.

### **3.3.2 Svařování litiny za polotepla**

Přehřívací teplota zde nemusí překročit 400°C, a to ani při svařování velmi složitých odlitků. Přehřev má být nejlépe celkový (stačí také jen místní v okolí spoje). Obvykle se dosahuje až 100% hodnot mechanických vlastností jako u svařování za tepla. Někdy se stává, že před svařováním nelze použít žádného způsobu ohřevu svarku, a to pro jeho velké rozměry, pro nebezpečí ztráty přesných rozměrů atd., a proto se musí použít svařování za studena.

Účelem svařování za polotepla je spojení výhod svařování za tepla s výhodami svařování za studena, při němž nastávají malé deformace. Svářeč je méně obtěžován teplem a uspoří se přehřívací teplo. Teplota přehřátí se volí od 250 do 400°C podle velikosti, složitosti tvaru a podle stupně pnutí ve svarku.

Pro svařování za polotepla lze použít téměř všech způsobů svařování plamenem i elektrickým obloukem neželeznými a speciálními elektrodami, dávajícími litinový svarový kov. [1]

### **3.3.3 Svařování litiny za studena**

Při svařování za studena se svarek buď vůbec nepřehřívá, nebo se přehřeje na velmi nízkou teplotu, nepřevyšující 150°C. Svařuje se prakticky jen elektrickým obloukem a u svarů se dosahuje 60 až 70% hodnot mechanických vlastností původní litiny. Jakost oprav svařování s přehřevem je mnohem lepší než při svařování za úplného studena. Ve skutečnosti se raději používá svařování za úplného studena, které přesto, že je riskantní, je rychlé a levné. Výhodná je také operativnost opravy, kterou lze často uskutečnit přímo na stroji bez demontáže součásti a často je jediným řešením, např. při opravách složitých a velkých svarků. [1]

### 3.3.3.1 Technologie svařování litiny za studena elektrickým obloukem

Svařuje se výhradně elektrickým obloukem obalenou elektrodou. Jen výjimečně lze použít holých elektrod. Elektroda se při svařování drží tak, aby byla kolmá na povrch. Svařováním na studený povrch litiny vznikají přechodová místa s různým složením, a tudíž i s různými mechanickými vlastnostmi. Návarový kov, odtavený z nízkouhlíkové ocelové elektrody, se udržuje v původním složení jen v hořejší části návaru, kdežto spodní část je již smíchána se základním materiálem. Tato část je ještě obrobitelná řeznými nástroji, přestože je nauhličena tím, že se smíchala se základním materiálem. V další vrstvě je již litina o vysokém obsahu uhlíku, promíchaná jen nepatrně se svarovým kovem a ve vrstvě, která je těsně vedle základního materiálu je jen bílá litina dosahující tvrdosti 500 až 600HV a nedá se obrábět řeznými nástroji. Je to také nejkřehčí pásmo, ve kterém mohou vznikat praskliny a které hlavně způsobuje obtíže při svařování litiny.

Technologie svařování litiny za studena je zaměřena hlavně na největší zúžení křehkého pásma, snížení jeho křehkosti a zmenšení jeho namáhání během svařování. Aby se vyhovělo těmto požadavkům, používá se vhodného druhu a průměru elektrody, vhodného svařovacího proudu, techniky svařování, jako je postup kladení housenek, vedení elektrody, střídání návarů atp. Důležitá je jakost, tj. svařitelnost litiny, a proto v zásadě rozeznáváme dva druhy svařování litiny za studena: Při dobře svařitelné litině se prakticky neliší technologie svařování od běžné technologie používané pro nízkouhlíkovou ocel. [1]

## 3.4 Přídavný materiál

Přídavným materiálem pro svařování litiny se rozumějí lité tyčinky, tyčinky barevných kovů, obalené elektrody a trubičkové dráty. Důkladná znalost přídavného materiálu je jednou z předností, jimiž se vyznačuje kvalifikovaný svářeč litiny. Svářeč se musí často vyzkoušet několik přídavných materiálů, než zjistí, který je ten pravý. U svařování litiny má významné místo ve složení přídavného materiálu prvek zvaný **nikl**.

Nikl je grafitizující prvek a podporuje segregaci (oddělování) grafitu a zamezuje vytvoření bílé litiny. Proto se niklu využívá při výrobě přídavných materiálů.

Při svařování svařovacím hořákem a metodou WIG se používají přídavné materiály tohoto složení:

### **1. Litina s vysokým obsahem křemíku**

- vyžaduje předehřívání odlitku do červena a pozvolné ochlazování
- používá se ke svařování litiny s lupínkovým grafitem (odstraňování slévacích vad, svařování hlav spalovacích motorů)

### **2. Měďnaté slitiny**

- nevyžaduje tak velké předehřátí jako v předchozím případě (cca 300°C)
- používá se k opravě malých dílů, spojování litiny s ocelí a k navařování litiny s lupínkovým grafitem

### **3. Práškové slitiny na bázi niklu**

- vyžaduje předehřátí na 300°C
- hodí se pro svařování kusů litiny s lupínkovým grafitem, kusů z temperované a legované litiny

Materiály používané při svařování elektrickým obloukem:

### **1. Obalená elektroda s vysokým obsahem niklu**

- nikl obsažen z více jak 92%, zbytek jsou železo, uhlík, křemík a mangan
- použití při svařování litiny s lupínkovým grafitem za studena, spojování litiny s ocelí apod., svar je snadno opracovatelný

### **2. Obalená elektroda železo-nikl**

- obsah niklu a železa přibližně stejný (51 a 46%)
- lze použít na běžné druhy litin s lupínkovým grafitem
- na rozdíl od elektrody s vysokým obsahem niklu, má elektroda železo-nikl svarový kov s vyšší pevností a je méně náchylný k zanášení nečistotami

### **3. Obalená elektroda s obsahem mědi**

- měď obsažena z přibližně jedné třetiny a nikl z 62%
- za studena a tlaku (temování) vytvrditelný svarový kov

Dále se používají trubičkové dráty. Buď je nutná ochranná atmosféra, nebo jsou dráty koncipované tak, že při svařování vzniká ochranný plyn a cizí zdroj ochranného plynu není tudíž potřebný.

Výrobou přídatných materiálů se zabývá spousta firem po celém světě, např. ESAB, Castoline, Böhler Uddeholm apod. Každý výrobce má svařovací materiál svého složení založeného na mnoha letech výzkumu. Nelze tedy jednoznačně vzájemně srovnat vybrané svařovací materiály.

## 4 Závěr

Svařování a svařitelnost je v dnešní době velice žhavým tématem nejen z důvodu úspor ve výrobě, ale i z hlediska opravování a renovace použitých dílů. Opravy a renovace svařováním se staly neodmyslitelnou výrobní operací. Požadavky na opravu svarových spojů nevyhovujících kvalitativním kritériím, opravu poškozených dílů a renovaci opotřebovaných dílů neustále rostou. V poslední době roste i požadavek na prodloužení životnosti nových dílů pomocí preventivních návarů. Všechny tyto požadavky lze obvykle splnit aplikací vhodně zvolené metody tavného svařování a technologie navařování.

Při svařování litin jsou nároky na svářeče, kvalitu přídavného materiálu a základního materiálu, mnohem větší než při svařování konstrukčních ocelí. Litinové materiály vykazují všeobecně omezenou svařitelnost, avšak při vhodné volbě přídavného materiálu a při použití předsvařovacího a posvařovacího tepelného ošetření je možno zhotovit spolehlivé svarové spoje.

V této bakalářské práci byly shrnuty důležité pokyny pro svařování litiny za tepla druhově stejným materiálem, pro svařování litiny za studena druhově stejným i jiným materiálem a za polotepla taktéž stejným i jiným materiálem. Snažíme se co nejvíce svařovat za studena, protože je to nejméně energeticky náročné. Volba přídavného materiálu je ovlivněna zejména specifickými vlastnostmi litiny, způsobem použití, tvarem a velikostí dílu a požadavky konečného odběratele. Správným výběrem způsobu svařování, přídavného materiálu, věcným pochopením a dodržáním pro litinu nutných technologií je zabezpečeno kvalitativně spolehlivé svaření litiny. Obecně se uvádí, že je třeba klást krátké housenky. Také je velice důležité provést penetrační zkoušku, abychom se ujistili, že nejsou na svarové ploše mikrotrhliny. Dalším velice důležitým krokem je odvrtní konců trhlín. Svařování litiny nevede ke snížení mechanických vlastností při statickém namáhání. Při dynamickém namáhání se udává snížení o 20 až 30%, které zpravidla nepředstavuje pro skutečné zatížení litých komponentů žádné omezení. Je potřeba se i nadále věnovat výzkumu svařitelnosti a svařování litin, protože jsou neodmyslitelnou součástí našeho každodenního života.

### **Použitá literatura:**

- [1] KRŇÁK Rudolf: *Svařování litiny*, Státní nakladatelství technické literatury Praha 1960.
- [2] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1998, 166 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1263-1.
- [3] CHOTĚBORSKÝ, Rostislav. *Nauka o materiálu*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2006, 134 s. ISBN 80-213-1442-7.
- [4] KOPEČEK Josef: *Svařování litin*, bakalářská práce, Brno 2010
- [5] Struktura a vlastnosti grafitických litin: Litina s lupínkovým grafitem. In: VUT Brno [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=10>>
- [6] Struktura a vlastnosti grafitických litin: Litina s kuličkovým grafitem. In: VUT Brno [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=11>>
- [7] Struktura a vlastnosti grafitických litin: Litiny s červíkovitým grafitem. In: VUT Brno [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=12>>
- [8] Struktura a vlastnosti grafitických litin: Temperované litiny. In: VUT Brno [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=13>>
- [9] Svařování, sváření: Svařování litin. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.ingro-machine.cz/clanky/51-svarovani-svareni.html>>
- [10] General weld: Svařitelnost litiny-praktická doporučení. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.generalweld.cz/cz/welding.php?id=3>>
- [11] ESAB: Příkladné materiály pro svařování litin. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://products.esab.com/Templates/T094.asp?id=72875>>
- [12] Castolin: Příkladné materiály na svařování litiny. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://castolin.com/>>
- [13] Weldmasters: Svařování litiny. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.weldmasters.cz/cz/fotogalerie/svarovani-litiny/>>

- [14] CZ Welding: Svařování litiny. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <[http://www.czwelding.cz/cz/dilna/svarovani\\_litiny](http://www.czwelding.cz/cz/dilna/svarovani_litiny)>
- [15] Svarbazar: Svařování litiny v příkladech. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008010302>>
- [16] Svařák: Opravné svařování litin. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.svarak.cz/navaovani-svaovani/cesky/55-opravne-svaovani-litin.html>>
- [17] Welding: Svařování litinových materiálů. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <[http://www.welding.cz/vyvoj/svar\\_02/02\\_1-7.htm](http://www.welding.cz/vyvoj/svar_02/02_1-7.htm)>
- [18] CZ Weld: Svařování litin. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.czweld.cz/clanky/abeceda.htm>>
- [19] Svařování plamenem. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování\\_plamenem](http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování_plamenem)>
- [20] Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování\\_v\\_ochranné\\_atmosféře\\_tavící\\_se\\_elektrodou](http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování_v_ochranné_atmosféře_tavící_se_elektrodou)>
- [21] Litina: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Litina>>. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-09].

Seznam obrázků :

- 1) Struktura litiny s lupínkovým grafitem
- 2) Struktura litiny s kuličkovým grafitem
- 3) Struktura litiny s červíkovitým grafitem
- 4) Struktura temperované litiny s bílým lomem
- 5) Struktura temperované litiny s černým lomem
- 6) Svařování plamenem
- 7) Svařování elektrickým obloukem
- 8) Svařování metodou WIG

Seznam tabulek :

- 1) Rozdíl složení litiny s lupínkovým grafitem a ocelí
- 2) Určení přibližné svařitelnosti
- 3) Nejvhodnější velikosti svařovacích proudů