



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# SOUČASNÉ MOŽNOSTI A TRENDY PRO SVAŘOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝMI ROBOTY

ANALYSIS OF CURRENT POSSIBILITIES FOR ROBOTIC WELDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ PETLACH

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ KUBELA

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Petlach

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

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Současné možnosti a trendy pro svařování průmyslovými roboty**

v anglickém jazyce:

#### **Analysis of current possibilities for robotic welding**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analyzujte aktuální trendy a možnosti v oblasti svařování pomocí průmyslových robotů. Zaměřte se především na jednotlivé technologie jako je obloukové, bodové nebo laserové svařování, dále nezbytné periferie potřebné pro konkrétní aplikace, popis samotného procesu a moderní trendy, které vedou k přesnějšímu navádění průmyslového robotu.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte přehled současných možností technologie robotizovaného svařování.
2. Klasifikujte jednotlivé technologie (obloukové, bodové, laserové apod.) a shrňte jejich výhody a nevýhody.
3. Zaměřte se také na moderní trendy, které vedou k přesnějšímu sledování dráhy svařovacího robotu.

Seznam odborné literatury:

1. SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
2. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
3. PIRES, J. N. Welding Robots: Technology, System Issues and Applications. Springer, 2006. 180 s. ISBN 978-1-85233-953-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Kubela

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 22.3.2011

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá problematikou svařování průmyslovými roboty. Popisuje jednotlivé technologie svařování (obloukové, laserové, odporové). Dále se věnuje šestiosým svařovacím robotům, svařovacím pracovištím a způsobům přesnějšího navádění svařovacích robotů. Na závěr shrnuje celkovou bilanci robotizovaného svařování.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Svařovací technologie , Svařovací robot, Svařovací pracoviště

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with industrial welding robots. It describes the different welding technologies (arc, laser, resistance). It also deals with six-axis welding robots, welding departments, and ways of more precise welding robot guidance. In conclusion, the total balance of robotic welding.

## **KEYWORDS**

Welding Technology, Welding robots, Welding workplace

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Petlach, T. *Současné možnosti a trendy pro svařování průmyslovými roboty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 45 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kubely a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2011

.....

Tomáš Petlach

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Tomáši Kubelovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

# OBSAH

Úvod .....	9
1 SVAŘOVÁNÍ.....	10
1.1 Svařování obecně.....	10
1.2 Rozdělení svařovacích metod.....	11
2 SVAŘOVACÍ METODY POUŽÍVANÉ V ROBOTIZOVANÉM SVAŘOVÁNÍ.....	12
2.1 Tavné svařování.....	12
2.1.1 Úvod do obloukového svařování v ochranných atmosférách.....	12
2.1.2 Svařování metodou WIG (TIG).....	13
2.1.3 Svařování metodou MIG/MAG.....	18
2.1.4 Svařování laserem.....	22
2.2 Tlakové svařování .....	26
2.2.1 Odporové svařování.....	26
3 SVAŘOVACÍ ROBOTI.....	29
3.1 Definice robotů .....	29
3.2 Kinematická konstrukce svařovacího robotu .....	30
3.2.1 6 DOF průmyslový robot.....	30
3.3 Svařovací pracoviště.....	33
3.3.1 Pracoviště pro obloukové svařování.....	33
3.3.2 Pracoviště pro bodové svařování.....	34
4 NAVÁDĚNÍ PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ .....	36
4.1 Vyhledávání hubicí svařovacího hořáku .....	36
4.2 Vyhledávání koncem svařovacího drátu.....	37
4.3 Vyhledávání pomocí optického senzoru .....	37
4.4 Principy moderních senzorů .....	38
5 BILANCE ROBOTIZOVANÉHO SVAŘOVÁNÍ .....	40
5.1 Výhody robotizovaného svařování .....	40
5.2 Úskalí robotizovaného svařování .....	41
Závěr.....	43



# ÚVOD

Tato práce pojednává o velmi rozsáhlém průmyslovém odvětví, u kterého šel za minulé století vývoj jednotlivých technologií neuvěřitelně kupředu, a to především díky světovým válkám, protože potřeba urychlené výroby zbraní byla obrovská. A tak ani svařovací automaty a roboty nemohly zůstat pozadu. Svařovací roboty obecně usnadňují, zpřesňují, zrychlují a především zlevňují výrobu součástí vyráběných sériově a současný průmysl si bez nich můžeme jen těžko představit.

Bakalářská práce řeší o problematiku svařování průmyslovými roboty. Je rozdělena na 5 kapitol. První kapitola je věnována popisu základního principu svařování rozdělení jednotlivých svařovacích metod. V druhé kapitole je popsán princip, použití, výhody a nevýhody jednotlivých metod, které se v robotizovaném svařování používají nejčastěji. Mezi tyto metody patří obloukové svařování v ochranných atmosférách (MIG, MAG a WIG), laserové svařování a svařování odporové.

Dále se práce věnuje již zmiňovaným průmyslovým robotům. Vysvětluje co je to vlastně průmyslový robot, čím je charakteristický a proč lidé začali roboty vynalézat. Blíže se zde popisuje šestiosý průmyslový robot, který se v robotizovaném svařování používá nejčastěji. Jsou zde popsána také jednotlivá pracoviště obloukového a odporového svařování.

Další problematikou jsou způsoby přesnějšího navádění svařovacího robotu, při svařování méně přesných nebo rozměrných součástí, u kterých rozměrové tolerance přesahují mez, pro kterou jsou roboty programovány. Jedná se především o vyhledávání hubicí svařovacího hořáku, vyhledávání koncem svařovacího drátu nebo jejich kombinace a dále o vyhledávání pomocí optických senzorů. Poslední kapitola shrnuje jednotlivé výhody a úskalí robotizovaného svařování obecně.

# 1 SVAŘOVÁNÍ

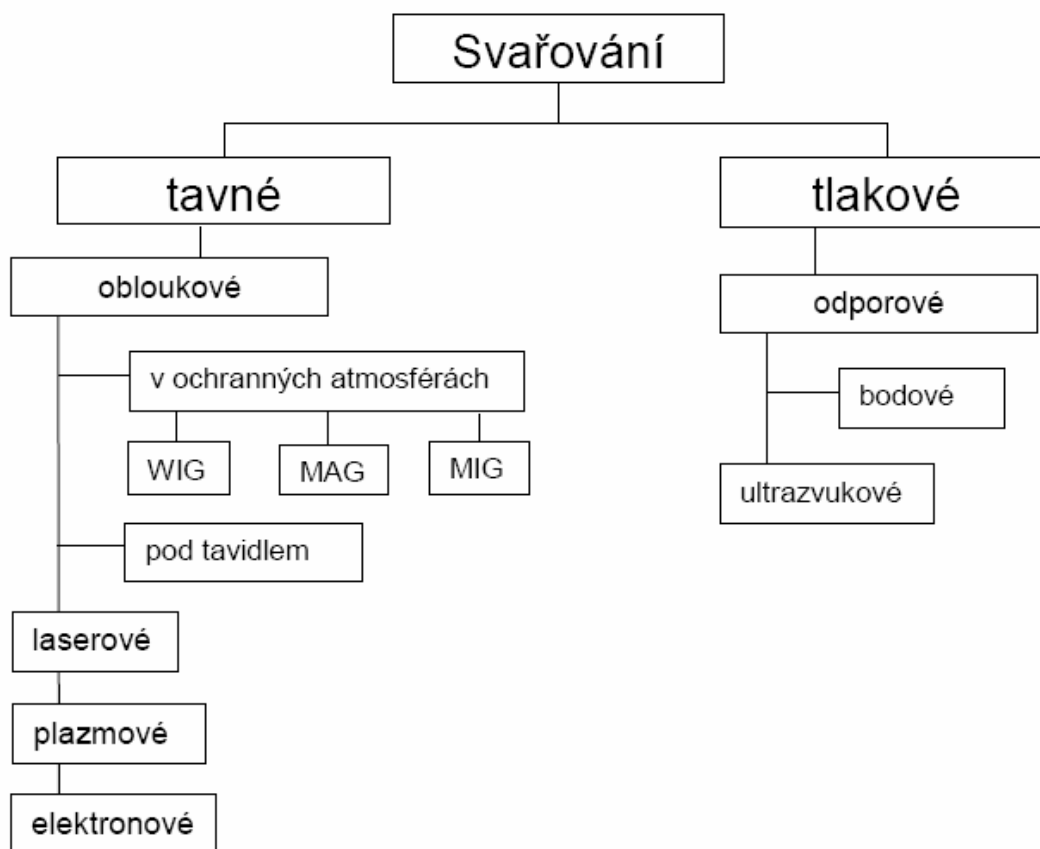
## 1.1 SVAŘOVÁNÍ OBECNĚ

Svařování je proces, který slouží k vytvoření trvalého, nerozebíratelného spoje dvou a více materiálů. Obecným požadavkem na proces svařování je vytvoření takových termodynamických podmínek, při kterých je umožněn vznik nových meziatomárních vazeb.

Prakticky je velmi obtížné dosáhnout spojení na úrovni meziatomových vazeb za okolních podmínek (běžná teplota, tlak), kdy je termodynamický stav materiálů stabilní resp. metastabilní, proto je nutné tento termodynamický stav změnit. Proto je při svařování nutné působit buď tlakem, teplem nebo oběma faktory najednou. Obecně platí závislost, čím vyšší působí tlak, tím méně je potřeba vnést tepla a obráceně. Tlakové svařování je označením svařování za působení převážně tlaku a tavné při působení tepla.

Svařovat lze kovové i nekovové materiály, materiály podobných i různých vlastností. Ale pro různé typy spojů a materiálů jsou vhodné jiné metody svařování. Při svařování dojde vždy ke změně fyzikálních nebo mechanických vlastností základního materiálu (spojovaného) v okolí spoje. [3]

## 1.2 ROZDĚLENÍ SVAŘOVACÍCH METOD



Obr. 1 Rozdělení svařovacích metod

## 2 SVAŘOVACÍ METODY POUŽÍVANÉ V ROBOTIZOVANÉM SVAŘOVÁNÍ

### 2.1 TAVNÉ SVAŘOVÁNÍ

Tavné svařování lze charakterizovat jako postup, kdy se přivádí energie pouze ve formě tepla a ke spojení materiálů dochází při jejich roztavení v tzv. svarové lázni. Nejvýznamnějším zástupcem, co do rozsahu používání, je svařování elektrickým obloukem a laserové svařování.

Roztavený kov má tendenci reagovat s prvky obsaženými v okolní atmosféře, zejména kyslíkem a dusíkem nebo znečištěním na svarové ploše sírou, fosforem. Pro ochranu před vlivem prvků v atmosféře se používají takové způsoby, které zabraňují těmto nežádoucím plynným prvkům v reakci se svarovou lázní. U některých metod se používá ochrana záměrně dodávaným plynem, plynem vytvořeným během svařování nebo tavidlem, které omezují přístup vzduchu ke svarové lázni. Nečistoty ve svarové lázni se rafinují struskou, vzniklou reakcí záměrně dodávaných tavidel a nežádoucích prvků.

Rozmanitost metod tavného, zejména obloukového svařování, je dána vhodností každé jedné metody pro různé druhy svařovaných materiálů, typů spoje, poloh při svařování a pro požadovaný kvantitativní výkon svařování, kvalitu svaru, velikost vnitřních pnutí a deformací. [3]

#### 2.1.1 ÚVOD DO OBLOUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH

Současný vývoj oblasti svařování v ochranných plynech je hnacím motorem rozvoje svařování. Růst objemu svařovaných konstrukcí vykazuje především metoda MIG/MAG, která stále častěji nahrazuje ruční svařování obalenou elektrodou. MIG/MAG metoda je také nejpoužívanější technologie aplikovaná na mechanizovaných a robotizovaných výrobních systémech. V oblasti svařování trubkových systémů chemických a tepelných zařízení je nejpoužívanější technologií metoda WIG - ruční svařování nebo automatická verze orbitálního svařování.

Při obloukovém svařování v ochranných atmosférách hoří oblouk obklopen atmosférou ochranného plynu, která chrání elektrodu, oblouk, odtavující se kapky přídatného materiálu a tavnou lázeň proti účinkům vzdušného kyslíku a dusíku. Jednotlivé technologie se rozlišují podle druhu elektrody a ochranného plynu. [1]

Zkratky pro označování metod jsou mezinárodně uznávané a základní jsou tyto:

WIG Wolfram Inert Gas - Svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu. Metoda se též označuje zkratkou TIG – Tungsten IG.

MIG Metal Inert Gas - Svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu.

MAG Metal Activ Gas - Svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu. [1]

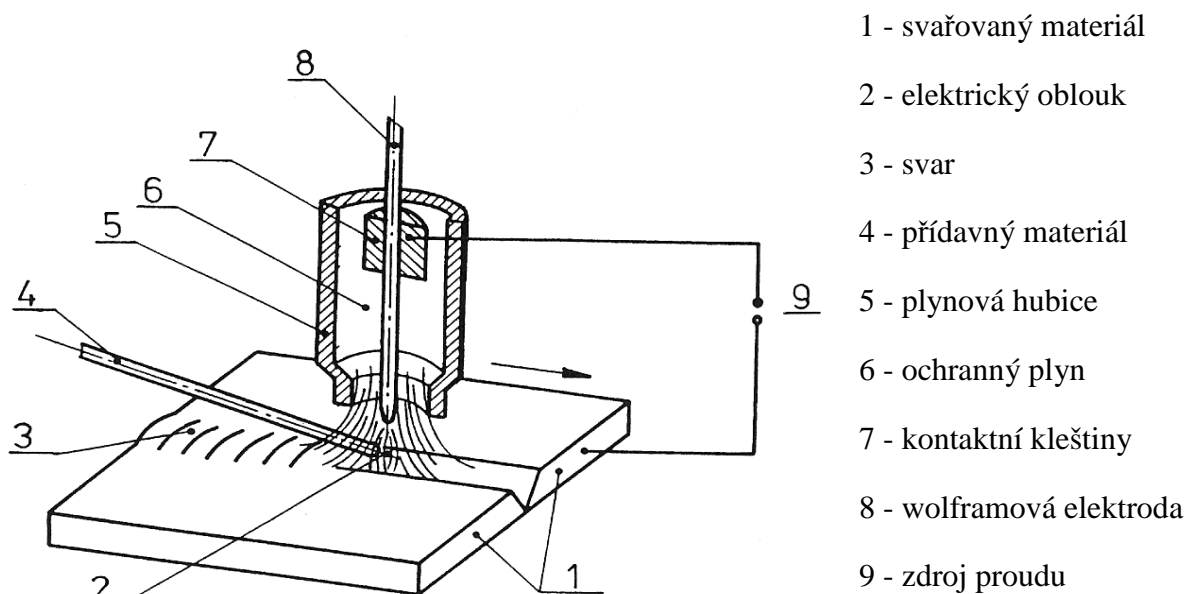
### 2.1.2 SVAŘOVÁNÍ METODOU WIG (TIG)

Je to tavná metoda svařování elektrickým obloukem, která se používá především pro svařování hliníku a hořčíku a jejich slitin, korozivzdorných ocelí, niklu, mědi, bronzů, titanu, zirkonu a dalších neferitických kovů.

Metoda je charakteristická dvěma rysy. Prvním rysem je použití neodtavujících se wolframových elektrod, které jsou vyrobeny buď z čistého wolframu nebo jsou k wolframu přidávány vybrané legury. A druhým významným rysem je použití inertních plynů jako ochranné atmosféry, která chrání jednak svarovou lázeň a jednak samotné elektrody. Používá se převážně argonu nebo hélia, ale v některých aplikacích i vodík nebo dusík. [7]

#### PRINCIP SVAŘOVÁNÍ METODOU WIG

Při svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu hoří elektrický oblouk mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem nebo svarovou lázní. Vzniklé teplo natavuje svarové hrany základního materiálu případně i přídavný materiál. [7]



Obr. 2 Princip svařování netavící se elektrodou v inertním plynu - WIG. [1]

Vždy se používá inertní ochranná atmosféra z helia nebo argonu nebo jejich směsí. V některých případech se používají směsi i s vodíkem nebo dusíkem. Vysoká čistota používaných plynů je vyžadována nejenom z důvodu omezení opotřebením a zátěže wolframové elektrody, ale také aby se omezil přístup nežádoucích prvků ke svarové lázni, které mohou způsobit ve svarech vady (většinou póry, bubliny, zkřehnutí svarů apod.). Omezení přístupu kyslíku je nutné zejména u svařování hliníku, hořčíku, titanu, zirkonu, niklu, mědi, molybdenu, ale i dalších. [7]

V závislosti na druhu svařovaného materiálu se používá střídavý i stejnosměrný proud, případně usměrněný pulsní proud. Svařování střídavým proudem se používá pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a další. Pro svařování uhlíkové oceli se metoda WIG používá méně z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a z ekonomického hlediska. Svařování wolframovou elektrodou se používá i pro spojování obtížně svařitelných materiálů např. titan a zirkon. [1,7]

Strojní svařování WIG se ve srovnání s ručním svařováním se vyznačuje lepší ekonomičností a kvalitou svarů. Výkon odtavení při ručním svařování je velmi nízký a proto nemůže soupeřit s metodami svařování tavícími se elektrodami v ochranných atmosférách. [1,7]

Dále je cílem strojního svařování:

- zvýšení kvality a užitečných vlastností svarového spoje s vyloučením vlivu manuálního vedení hořáku
- zlepšení hospodárnosti procesu úsporou plynu a přídavných materiálů
- snížit podíl lidské práce při nedostatku kvalifikovaných svářečů
- zlepšit produktivitu svařování zvýšením rychlosti a využitím vysokovýkonných variant svařování
- rozšířit okruh aplikací o svařování těžkosvařitelných kovů [1,7]

## **VÝHODY SVAŘOVÁNÍ METODOU WIG**

- svařování různých materiálů navzájem, např. uhlíkové a korozivzdorné oceli, měď, mosaz, apod.
- možnost svařování široké škály materiálů
- čistý povrch svaru
- dobrý vzhled svaru na straně povrchu i kořenové části
- elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů
- vysoká operativnost při svařování v polohách
- jednoduchá obsluha a přesná regulace parametrů svařování
- svary mají malou tepelně ovlivněnou oblast a minimální deformace
- možnost velmi přesného dávkování množství tepla vneseného do svaru [1,7]

## **POUŽITÍ SVAŘOVÁNÍ METODOU WIG**

- svařované konstrukce z vysokolegovaných ocelí pro chemický, farmaceutický a potravinářský průmysl, klasickou i jadernou energetiku
- žárupevné a žáruvzdorné oceli pro stavbu kotlů, tepelných výměníků a pecí
- titanové a speciální slitiny v oblasti výroby letadel a kosmické techniky
- hliníkové slitiny v oblasti dopravní techniky i všeobecného strojírenství [1]

## **PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY**

Pro robotizované svařování se používá přídatný materiál ve formě drátu. Svařovací dráty jsou přesného kruhového průřezu navinuté rovnoměrně na cívkách. Dodávají se od průměru 0,6 až do 2,4 mm, pro navařování do 5mm. Dráty z mědi, hliníku a jejich slitin musí mít střední stupeň tvrdosti po deformačním zpevnění, které zajišťuje tuhost při mechanizovaném podávání do místa svaru. [1]

Přídavné materiály plní při svařování metodou WIG několik funkcí:

- doplnit objem svarového kovu a vytvořit svar požadovaného tvaru a průřezu
- legovat svarový kov přísadami, které zlepšují užité vlastnosti svaru
- dodat do svarového kovu přísady, které zajišťují desoxidaci, odplynění a příznivě ovlivňují metalurgické děje ve svarovém kovu
- zlepšit formování svaru, smáčení svarových ploch a operativnost při svařování v polohách. [1]

## OCHRANNÉ PLYNY

Ochranné plyny chrání netavící se wolframovou elektrodu i svarovou lázeň proti nežádoucím účinkům okolní atmosféry. Další funkcí je zabezpečení podmínek pro zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku. Samostatně se používají argon a hélium, ve směsích pak argon + hélium, argon + vodík, argon + dusík. Plyny se používají pouze v čistotě minimálně 99,995 %.

**Argon:** Nejčastěji užívaný plyn, který lze použít pro všechny svařované materiály. Díky nízké tepelné vodivosti a relativně malému ionizačnímu potenciálu se elektrický oblouk v argonu snadno zapaluje a stabilně hoří.

**Helium:** Svojí vysokou tepelnou vodivostí výborně přenáší teplo do svarové lázně. To je výhodné při svařování kovů s vysokou tepelnou vodivostí (hliník, měď) a povrchovými vysokotavitelnými oxidy (hliník). Používá se především u mechanizovaném způsobu, např. u svařovacích robotů.

**Směs argonu a hélia:** Kombinuje výhody obou plynů tj. snadného zapalování a hoření oblouku u argonu a vysokého tepelného výkonu oblouku u hélia. Směsi se s výhodou používají u svařování hliníku a jeho slitin nebo mědi.

**Směs argonu a vodíku:** Vysoký tepelný výkon, používá se výhradně ke svařování korozivzdorných (austenitických chrom-niklových) nebo austeniticko-feritických ocelí, niklu a jeho slitin.

**Směs argonu s dusíkem:** Vysoký tepelný výkon, který se využívá u svařování materiálů s vysokým koeficientem tepelné vodivosti, zejména mědi. Pro svařování ocelí jak uhlíkových tak korozivzdorných, se nesmí používat, protože způsobuje zhoršení jejich mechanických vlastností, zejména zkřehnutí svarů [7]



## **SVAŘOVACÍ HOŘÁKY**

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 150A a vodou chlazené hořáky do 350 až 500A.

Hořáky mají vyměnitelné kleštiny, 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 vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu. Některé hořáky jsou vybavené zvonovitým krytem pro odsávání zplodin svařování.

Další tepelně zatíženou částí je plynová tryska, která usměrňuje proudění plynu do místa svařování. Keramické trysky se používají pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem a kovové nejčastěji měděné a pochromované, jsou vhodné pro strojní hořáky chlazené vodou. Průměr plynové trysky se volí podle požadované plochy, kterou chceme chránit.

Každý hořák je vybavený spínačem elektrického proudu, který umožňuje dvoutaktní nebo čtyřtaktní funkci spínání svařovacího proudu. Hořáky nových moderních zdrojů umožňují v průběhu svařování měnit svařovací proud plynule nebo skokově na předem nastavené hodnoty proudu. [1]

## **PERIFERIE**

Pro zlepšení plynové ochrany se často používají plynové čočky (sítka), které prodlouží laminární proudění plynu a usnadní přístup k místu svařování vysunutím elektrody. Plynová síťka mohou snížit množství ochranného plynu až o 50% a umožňují vysunutí elektrody na 15 až 20 mm.

Ke kontrole správného množství plynu na ochranné plynové trysce se používají trubkové průtokoměry s kuličkou. Ochranný plyn musí dokonale zajistit ochranu proti účinkům okolní atmosféry, aby bylo zabráněno kontaminaci svarové lázně kyslíkem nebo dusíkem a wolframová elektroda byla chráněna proti oxidaci.

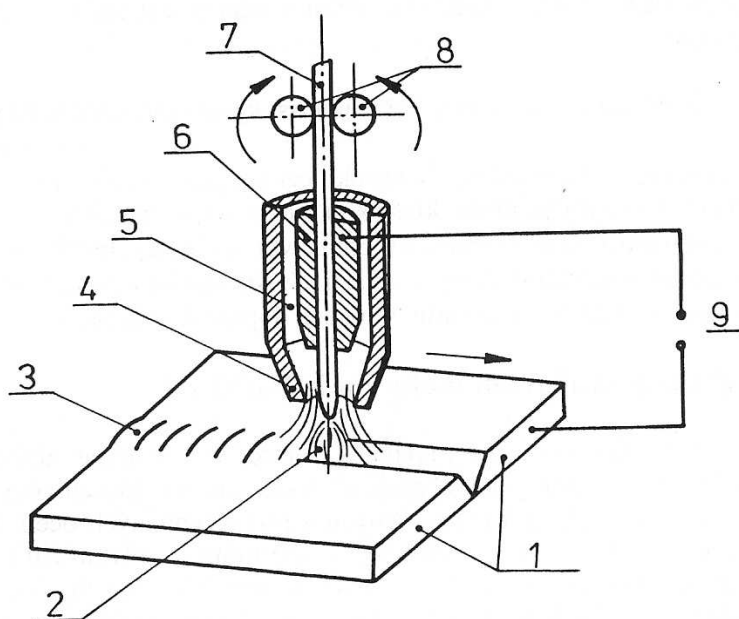
Pro zajištění dokonalého plynového prostředí pro zapálení oblouku je svařovací zařízení vybaveno funkcí předfuku plynu. Zapálení oblouku je zpožděno proti začátku proudění plynu o 2 až 5 sec. Naopak ochlazování elektrody a svarového kovu na teplotu, kdy nehrozí oxidace je zajištěno funkcí dofuku. Tato funkce zajišťuje proudění ochranného plynu ještě 5 až 10 sec po vypnutí proudu. Jestliže má elektroda modré nebo černé zbarvení je ochrana nedostatečná a doba proudění plynu je třeba prodloužit. [1]

### 2.1.3 SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svařování MIG v inertním plynu získává na důležitosti vlivem růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Hlavními důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a především významné výhody a charakteristiky uvedené metody svařování. [1]

#### PRINCIP SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG:

Principem obloukového svařování je hoření elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou a základním materiálem nebo svarovou lázní. Svařovací drát, který se odvíjí z cívky, je třecím kontaktem v měděné kontaktní špičce svařovacího hořáku napájen elektrickým proudem ze svařovacího zdroje s plochou statickou (neboli voltampérovou) charakteristikou (takový zdroj se někdy nazývá "tvrdým zdrojem"). Okolo svařovacího drátu a svařovací lázně proudí ochranný plyn, který chrání svarovou lázeň a zároveň napomáhá zapálení a stabilizaci elektrického oblouku. Při svařování s vyššími výkonnostními parametry po delší dobu je nezbytné svařovací hořák chladit. Chlazení se provádí cirkulací vody, která je přiváděna do hořáku multifunkčním kabelem spolu se svařovacím drátem, vodičem elektrického proudu a ochranným plynem. Největší výhodou metod svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře je poloautomatický režim podávání přídavného materiálu (svařovacího drátu), který svářečovi umožňuje snadněji tvořit housenku svaru a kontrolovat svarovou lázeň. Navíc a hlavně se tím omezují časté technologické přestávky při výměně elektrod v porovnání např. s ručním obloukovým svařováním. To vše přispívá k vyššímu výkonu odtavení, zvláště při větších průměrech elektrod a vyšších svařovacích proudech. Metodu lze použít pro svařování ve všech polohách, a to jak v dílně tak na montáži při dosažení zhruba srovnatelné kvality svaru. Je dostupná široká paleta ochranných plynů i přídavných materiálů. Svařování lze snadno mechanizovat i robotizovat. Uvedené vlastnosti vynášejí tuto skupinu svařovacích metod na pomyslnou špičku užívání v celosvětovém měřítku. [8]



- 1 - svařovaný materiál
- 2 - elektrický oblouk
- 3 - svar
- 4 - plynová hubice
- 5 - ochranný plyn
- 6 - kontaktní průvlak
- 7 - přídavný drát
- 8 - podávací kladky
- 9 - zdroj proudu

Obr. 3 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu - MIG/MAG. [1]

#### VÝHODY SVAŘOVÁNÍ MIG/MAG

- svařování ve všech polohách od tloušťky materiálu 0,8 mm
- vysoká efektivita
- velmi dobrý profil svaru a hluboký závar
- malá tepelně ovlivněná oblast především u vysokých rychlostí svařování
- široký proudový rozsah pro jeden průměr drátu
- stabilní plynová ochrana v různých variantách umožňující diferencované typy přenosu kovu v oblouku a ovlivnění mechanických vlastností svarů
- nízká pórovitost
- snadná aplikace metody u robotizovaných a mechanizovaných systémů svařování [1,8]

## OCHRANNÉ PLYNY

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků.

Použití plynů v ochranné atmosféře je závislé na druhu svařovaného materiálu, způsobu přenosu kovu, požadovaných mechanických vlastnostech svaru, tloušťce spojovaných materiálů, typu spoje, profilu svaru, hloubce závaru, rozsahu rozstříku, rychlosti postupu a poloze svařování. Plyny ochranné atmosféry musí zamezit přístupu okolní atmosféry ke svarové lázni a zabezpečit stabilní hoření elektrického oblouku, pro které musí mít dobré ionizační vlastnosti a dostatečnou tepelnou vodivost.

Ochranné atmosféry z inertních plynů nevstupují do chemické reakce se svarovou lázní. Většinou se používá argon, méně častěji helium, případně jejich směsi. Argon má sice nižší tepelnou vodivost i ionizační energii, ale schopnost většího závaru v porovnání s heliem. Ochranná atmosféra inertních plynů je vyžadována při svařování slitin hliníku, hořčíku, niklu, mědi, titanu a dalších ve 100% čistotě.

Jako aktivní plyn pro ochranné atmosféry, které chemicky a metalurgicky ovlivňují svarovou lázeň, se používá  $\text{CO}_2$  buď samotný nebo ve směsích s inertními plyny nebo  $\text{O}_2$  ve směsi s argonem. Pro svařování nízkolegovaných ocelí se běžně používají směsi  $\text{Ar} + 15$  až  $25\% \text{CO}_2$  ( $\text{Ar} + 10$  až  $25\% \text{CO}_2$ ), nejčastěji  $82\% \text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$ . Při svařování korozivzdorných ocelí musí být ve směsi plynů obsah  $\text{CO}_2$  maximálně  $4\%$ . Samotný  $\text{CO}_2$  jako ochranný plyn se dnes používá zřídka, protože mimo jiné způsobuje značný rozstřík svarového kovu a tím zvyšuje náklady na konečnou úpravu svařence.

Ochranné plyny jsou při svařování čerpány buď z centrálních podnikových rozvodů, které se používají spíše při sériové výrobě, nebo z tlakových lahví, které jsou vhodnější pro kusovou dílenskou nebo staveništní výrobu. Spotřeba ochranných plynů je součástí svařovacích parametrů a závisí, vedle velikosti a druhu svařovacího proudu, na svařovaném základním a přídatném materiálu. Spotřeba ochranného plynu  $\text{CO}_2$  je vyšší o cca  $30\%$  ve srovnání se směsí plynů, např.  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ .

Hodnotu průtoku svařovacího plynu většinou doporučují výrobci přídatného materiálu, orientačně se pohybuje cca od 8 do 25 litrů za minutu, ale při svařování hliníku v ochranné atmosféře  $100\% \text{He}$  může spotřeba dosáhnout až  $40 \text{ l/min}$ .

V současnosti se na ochranu oblouku používají jednosložkové nebo vícesložkové plyny. Při volbě ochranného plynu spolurozhodují technické a ekonomické ukazatele. V minulosti se používaly jednosložkové plyny především ekonomicky výhodný  $\text{CO}_2$ , ale v současnosti jsou velmi rozšířené směsi argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem. [8]

## **PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY**

Přídavné materiály obsahují legury a dezoxidační přísady, které rafinují a dezoxidují svarový kov a dolegovávají vypalované a další požadované prvky. Přídavný materiál pro svařování ocelí je legován mnoha prvky pro zajištění požadovaných vlastností. Vedle železa, které tvoří největší objem, obsahuje přídavný materiál uhlík, mangan, křemík, fosfor, titan, zirkon, hliník, nikl, molybden, chrom, vanad a další, v závislosti na druhu oceli (nízkolegovaná, korozivzdorná, atd.) a požadovaných vlastnostech svaru.

Svařování metodou MIG/MAG se používá pro spojování ocelí uhlíkových, střednělegovaných i vysokolegovaných, slitin hliníku, mědi, niklu i pro navařování vrstev v oblasti renovací a tvrdonávarů. Těmto základním materiálům odpovídá i velmi široká nabídka přídavných materiálů.

Pro metody obloukového svařování MIG/MAG se používají přídavné materiály ve formě plného drátu a plněného drátu (trubičkové dráty). Dráty jsou navinuté na drátěných nebo plastových cívkách o běžné hmotnosti 15 kg. Cívky se však vyrábějí v širokém sortimentu rozměrů a hmotností drátů – 5, 6, 10, 12, 16, 18, 25, 30 kg a nebo se pro robotizovaná pracoviště dodávají ve svitku baleném v lepenkovém balení hmotnosti až 200 kg. Takové balení umožňuje svařovat bez přerušování práce robota po dlouhou dobu.

Při svařování MIG/MAG je přídavným materiálem drát, který je nepřetržitě podáván do hořáku pomocí podavače. Podavač drátu zaručuje rovnoměrné podávání drátu bez jeho deformace a poškození povrchu. [1,8]

## **SVAŘOVACÍ HOŘÁKY**

Svařovací hořáky pro svařování MIG/MAG zajišťují přívod drátu do místa svařování, jeho napájení elektrickým proudem a laminární proudění ochranného plynu kolem přídavného drátu. Pro nízké příkony jsou hořáky chlazené procházejícím ochranným plynem a u vyšších výkonů se používá nucené chlazení proudící kapalinou (destilovanou vodou) v uzavřeném chladícím okruhu. Hořáky pro strojní svařování se vyrábí s válcovou upínací částí.

Všechny hořáky jsou vybaveny tvarovou trubkou na jejíž konci je umístěn kontaktní průvlak pro napájení drátu proudem, vyústění trubky pro přívod ochranného plynu a plynová tryska. Kontaktní proudový průvlak je spotřební výměnná část hořáku, jehož funkcí je rovnoměrné napájení drátové elektrody svařovacím proudem. Příliš velké opotřebení bývá příčinou v nepravidelnostech při napájení proudem a vychylování vedení drátu ve svarovém úkosu, které je u mechanizovaných a robotizovaných systémů svařování nepřijatelné. [1]

Plynová tryska usměrňuje proudění plynu kolem oblouku a svarového kovu. Do určité vzdálenosti musí zajistit laminární proudění i při rozstříku kapek roztaveného kovu. Z důvodu zamezení ulpívání kapek se vyrábí z galvanicky pochromované mědi. [1]

#### **2.1.4 SVAŘOVÁNÍ LASEREM**

Název LASER vznikl ze začátečních písmen anglického popisu samotné podstaty jeho principu činnosti Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla stimulovanou emisí záření. [2]

První laserový efekt se podařilo dosáhnout Theodoru Maimanovi v r. 1960. Od té doby pronikají aplikace laseru téměř do všech oblastí lidské činnosti od fyzikálních aplikací, měření délek, medicíny, holografie, přenosu informací až po výkonné lasery ve strojírenství a vojenské technice [2]

V devadesátých letech minulého století a první polovině tohoto desetiletí prodělala technologie laserového svařování poměrně dynamický vývoj – zčásti díky vývoji výkonnějších a nových typů laserů, zčásti též díky širšímu používání nových moderních materiálů, které jsou jinými metodami těžko svařitelné. V nemalé míře se o tento rozvoj přičinily též rostoucí požadavky na zvyšování produktivity výroby a opakovatelnosti technologického procesu. [11]

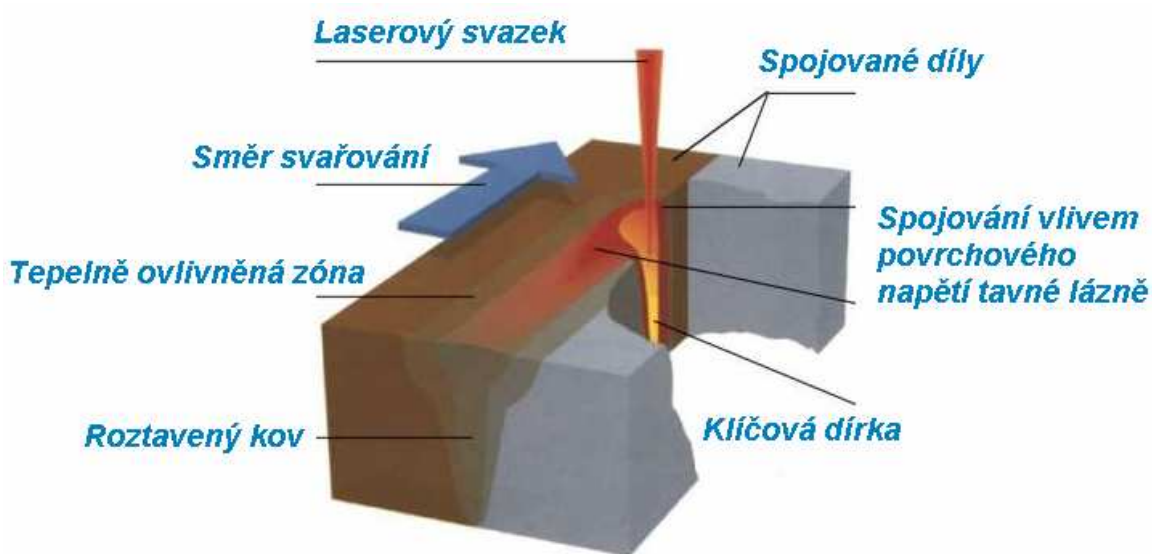
Hlavní předností laserového svařování oproti klasickým metodám je kvalita svaru, vyšší hloubka průvaru, podstatně menší tepelně ovlivněná zóna, vysoká produktivita, snadnější možnost automatizace a v neposlední řadě pak povrchový vzhled. Díky všem těmto výhodám se laserové svařování stalo běžné i konstruktérům, kteří je předepisují na výkresech sestav a kromě svařování kovů se stále více začíná uplatňovat i při svařování plastů a speciálních materiálů. [11]

#### **PRINCIP LASEROVÉHO SVAŘOVÁNÍ**

Svarový spoj lze laserem vytvořit v zásadě dvěma způsoby:

- 1) Pulzním svařováním s nízkou opakovací frekvencí, přičemž mezi jednotlivými pulzy ztuhne (úplně nebo částečně) svarová lázeň. Svarovou housenku pak tvoří mnoho za sebou jdoucích a vzájemně se překrývajících bodů. Tak se vytváří svarové spoje zejména na menších tloušťkách materiálu, v malosériové a kusové výrobě, při spojování obtížně svařitelných materiálů a tam, kde nelze kvůli konstrukčnímu uspořádání svařovaných dílů efektivně použít jinou metodu. [10]

- 2) Druhá možnost je založena na využití vysoké hustoty výkonu v dopadové ploše pro vznik tzv. klíčové dírky. Jde o kapiláru naplněnou ionizovanými kovovými výpary o vysoké teplotě (obr. 1). Stěny kapiláry tvoří roztavený kov. Kapilára hraje důležitou úlohu, neboť umožňuje přenášet energii přímo dovnitř materiálu podél svarových ploch. Jamka je přesouvána mezi díly určenými ke spojení rychlostí svařování. Při posuvu svazku ve směru svařování dochází vlivem povrchového napětí roztaveného kovu k opětovnému spojení svarového kovu za „klíčovou dírkou“. Tento efekt umožňuje svařování tupých svarů různých tloušťek bez úpravy svarových ploch, bez přídavného materiálu a na jeden průchod – a to s plným nebo částečným průvarem. [10]



Obr. 4 Princip laserového svařování [10]

Ekonomický přínos této metody je zřejmý. Snadná kontrola průvaru společně s úzkou tepelně ovlivněnou oblastí zajišťují vysokou kvalitu svarového spoje. Tento způsob svařování umožňuje automatizaci svařovacího procesu. Tavná lázeň je v obou případech chráněna před nepříznivými účinky okolí ochrannou atmosférou. [10]

Laserové svařování se vyznačuje vysokými svařovacími rychlostmi, minimálními deformacemi spojovaných dílů a velmi úzkou tepelně ovlivněnou oblastí. Umožňuje řešit řadu svařovacích operací s možností automatizace a robotizace. Jednou z mála nevýhod jsou zatím vysoké investiční náklady spojené s instalací laserového systému, které tuto technologii předurčují pro sériovou výrobu. [10]

## POUŽÍVANÉ DRUHY LASERŮ

V posledních cca pěti letech se výrazně mění rozložení jednotlivých typů laserů. Sice se pro svařování stále používají CO<sub>2</sub> lasery a Nd:YAG lasery (pulzní i kontinuální), popř. tzv. diskové lasery, což je v podstatě jakási modifikace Nd:YAG laserů. Poměrně významné místo při svařování mají i diodové lasery, a to převážně při svařování plastů. Výkonnější diodové lasery (v řádu několika kilowattů) se používají hlavně pro povrchové kalení a navařování. Před cca 10 lety se v 75 % svařovacích průmyslových aplikací používaly Nd:YAG lasery. V posledních několika letech se však tato situace mění a v mnoha aplikacích se stále více využívají lasery vláknové. [11]

## DIODAMI ČEPANÝ ND:YAG LASER

Vývoj v oblasti pevnolátkových laserů směřuje k získání vyšší účinnosti u zdrojů na zesílení záření. U běžných Nd:YAG laserů je čerpání zajištěno kryptonovými výbojkami s bílým světlem, ze kterého je absorbováno jen zelené a modré spektrum. Účinnost laseru je tedy velmi nízká do 5%.

Zvýšení účinnost čerpání je u nových typů laserů Nd:YAG uskutečněno laserovými diodami, které září ve velmi úzkém spektru absorpční čáry iontů Nd<sup>3+</sup>. Současné diodami čerpané Nd:YAG lasery používané v průmyslu mají kontinuální výkon až 5 kW při účinnosti 30%. [2]

## PLYNOVÝ CO<sub>2</sub> LASER

Výkonový plynový CO<sub>2</sub> má aktivní prostředí tvořeno směsí plynů: He + N<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> uzavřených ve skleněné trubici. Poměr plynů může být různý, ale nejběžnější je 82 : 13,5 : 4,5. Celý proces zesílení začíná excitací molekuly dusíku na vibrační hladinu E<sub>4</sub>. Při srážkách molekul dusíku s molekulami oxidu uhličitého dochází k rezonančnímu přenosu energie a excitaci CO<sub>2</sub> na hladinu E<sub>3</sub>. Vyzáření fotonu je realizováno při přechodu molekuly CO<sub>2</sub> z hladiny E<sub>3</sub> na hladinu E<sub>2</sub>.

Plynové lasery CO<sub>2</sub> mohou pracovat v kontinuálním nebo pulzním režimu a jejich výkon se běžně pohybuje od 0,5 do 20 kW, přičemž max. hodnoty dosahují až 200 kW. Vlnová délka záření je 10,6 μm, účinnost plynových CO<sub>2</sub> laserů dosahuje až 20 %. [2]

## VLÁKNOVÉ LASERY

Velkou výhodou vláknových laserů je podstatně vyšší účinnost, tzn. podstatně menší spotřeba elektrické energie, nižší nároky na chladicí okruh a výrazně menší půdorysné rozměry. Všechny tyto skutečnosti samozřejmě vedou k dramatickému snížení provozních nákladů. Výkon z budičích laserových diod je přímo navázán do aktivního vlákna rezonátoru. [11]



Jde o typ laseru, ve kterém je generováno záření s vlnovou délkou okolo 1,06  $\mu\text{m}$ , které je tedy totožné s vlnovou délkou Nd:YAG laserů. Ke stimulované emisi ale dochází uvnitř optického vlákna dopovaného vzácnými zeminami. Tím pádem je takovýto rezonátor podstatně teplotně stabilnější a rozměrově menší. Podobné generátory mají celou řadu předností ve srovnání s klasickými systémy: výbornou kvalitu svazku, kompaktnost, nízký příkon a přirozeně nepotřebují žádnou dodatečnou optiku pro navázání výstupu do vlákna. Už dnes jsou běžně k dispozici ověřené a plně funkční systémy s výkony až 50 kW. Přitom velikost stroje je srovnatelná s automatem na chlazené nápoje. [11]

### **PŘÍPRAVA SVAROVÝCH PLOCH**

Vzhledem k vysoké hustotě energie nejsou na čistotu povrchu svařovaných materiálů kladeny zvláštní požadavky, poněvadž veškeré tuky a nečistoty jsou před natavením svarové lázně odpařeny. Optimální mezera mezi svařovanými materiály je přibližně stejná jako u svazku elektronů a pohybuje se mezi 0,05 až 0,2 mm. U tenkých plechů v tisícinách mm. V případě větších mezer a při pájení laserem lze použít přídatný materiál ve formě drátu a překlenout širší mezery. [2]

### **VÝHODY SVAŘOVÁNÍ LASEREM:**

- adaptabilita s rychlou změnou technologie
- čistý provoz bez potřeby přídatných materiálů a odpadů
- provoz laseru je tichý, hluboko pod hranicí hluku konvenčních technologií
- laserový svazek lze dělit na různá pracovní místa soustavou zrcadel a hranolů
- snadná automatizace procesu
- možnost svařovat tloušťky od několika mikrometrů do 15 mm
- svařování tenkých plechů v automobilovém průmyslu bez ochranné atmosféry
- úzký a hluboký svar
- malé deformace, malé zbytkové vnitřní pnutí vzniklé svařováním a malé tepelně ovlivněné pásmo [2,12]

### **POUŽITÍ LASEROVÉHO SVAŘOVÁNÍ**

Obecně se dá říci, že technologie svařování materiálů laserem je vhodná tam, kde je nutné zrealizovat velmi náročné svary z hlediska kvalitativního a z hlediska sériové a hromadné výroby při požadavku automatizace tohoto procesu. [12]

Hlavním odbytištěm uvedené technologie jsou:

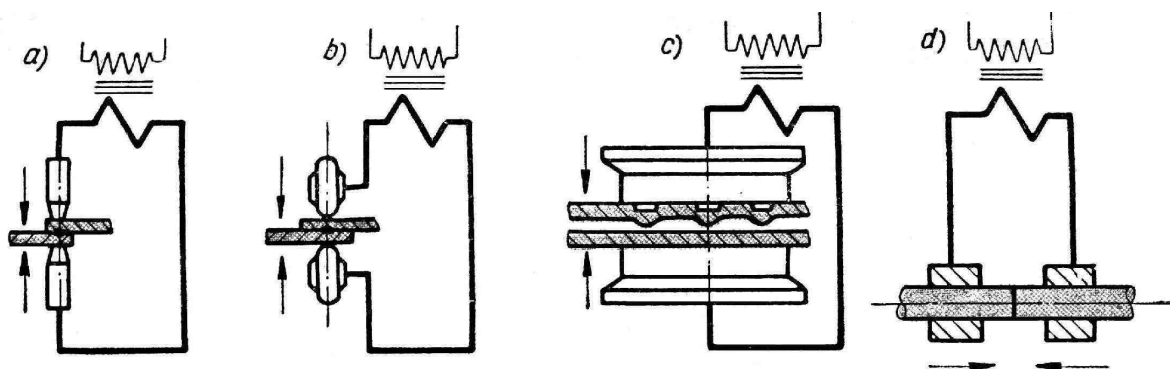
- strojírenská výroba, zvláště pak výroba automobilů
- zbrojní výroba
- elektrotechnická výroba
- výroba zdravotnické techniky [12]

## 2.2 TLAKOVÉ SVAŘOVÁNÍ

Tlakové svařování je charakterizováno působením jak tlaku, tak tepla za vzniku plastických deformací a ke spojení dochází i při částečně natavených materiálech. [3]

### 2.2.1 ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ

Odporové svařování se používá pro spojení relativně tenkých plechů na sobě. Plechy jsou k sobě přimáčknuty dvěma elektrodami jimiž zároveň prochází elektrický proud. Zdrojem tepla je elektrický odpor v místě styku svařovaných materiálů (přechodový odpor). Při současném působení tlaku tak dojde k lokálnímu svaření. Vzniklé svary mají velkou pevnost proti usmyknutí ve směru ploch plechů ve srovnání s namáháním kolmo k povrchu plechů. [2,3]



a) bodové odporové svařování

b) švové odporové svařování

c) výstupkové odporové svařování

d) stykové odporové svařování

Obr. 5 Čtyři hlavní druhy odporového svařování [2]

Nejčastěji se užívá bodového odporového svařování, při kterém vznikne svar přibližně o velikosti elektrod. Při švovém odporovém svařování se spojují plechy dlouhým svarem za pohybu kotoučových elektrod.

Elektrody se vyrábějí z takových materiálů, které lze nekonfliktně použít pro svařování daných základních materiálů. Pro ocelové plechy se nejčastěji používají měděné. Jinými materiály elektrod mohou být např. slitiny kobaltu a kadmia, mědi a stříbra a kadmia, mědi a niklu a křemíku, a dalších. [3]

### **TVRDÝ REŽIM**

Charakteristický vysokým proudem a krátkým časem. Vyžaduje současně vyšší přítlačnou sílu. Celkově však snižuje spotřebu elektrické energie a elektrod.

#### **Výhody:**

- krátké strojní časy
- jemnozrnná struktura
- minimální napětí a deformace
- snižuje spotřebu elektrické energie a elektrod

#### **Nevýhody:**

- vyžaduje stroje velkých příkonů a silnějších konstrukcí
- vyžaduje dobrou energetickou situaci v podniku [2]

## **MĚKKÝ REŽIM**

Pracuje při nižším svařovacím proudu dodaným v delším čase. Nevyžaduje stroje velkého příkonu, protože se pracuje s nižší přítlačnou silou. Je ale doprovázen hrubozrnnou (méně pevnou) strukturou.

### **Výhody:**

- nevyžaduje stroje velkého příkonu
- umožňuje používat menší průřezy elektrických vodičů
- méně citlivý na odchylky odporové svařitelnosti svařovaných materiálů

### **Nevýhody:**

- vyžaduje delší strojové časy (nižší produktivita)
- vznikají větší deformace a napětí ve svarových spojích
- hrubozrnná struktura
- vyžaduje častější úpravu svařovacích elektrod [2]

## **VYUŽITÍ ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ**

Nejvýznamnější aplikací odporového svařování je na robotizovaných pracovištích v sériové výrobě automobilového průmyslu při svařování karoserií. Např. na typu Škoda Fábie je celkem 4500 bodových svarů. Další využití je v oblasti vzduchotechniky, krytování strojních zařízení, výroby kovového nábytku atd. Švové svařování slouží k výrobě těsných přeplátovaných spojů. Nepoužívá se tak často jako svařování bodové, ale v některých oblastech, např. při výrobě některých typů radiátorů ústředního topení nebo plechových obalů, je v současné době nezastupitelné. Svařování na lisech se používá pro svařování strojních součástí, sít, pletiva, mříží a z domácností je významná aplikace svařování drátěného programu pro kuchyňské a koupelnové vybavení. [2]

## 3 SVAŘOVACÍ ROBOTI

### 3.1 DEFINICE ROBOTŮ

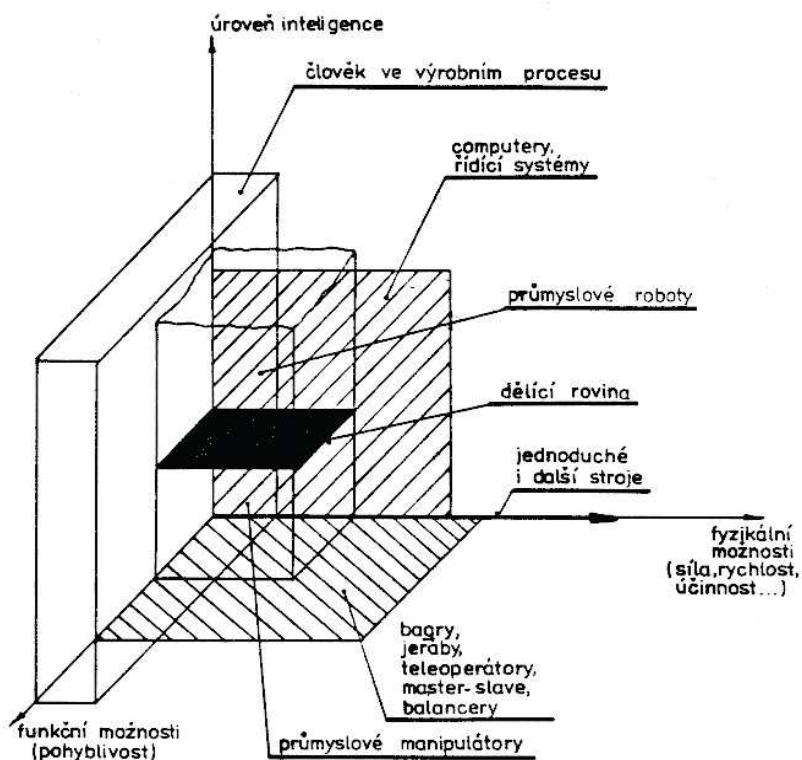
Obecné porovnání vlastností stroje s člověkem ve výrobním procesu je dobře vidět na obr. 6, kde osy představují následující kategorie:

- úroveň intelektu
- funkční možnosti
- fyzické možnosti

Úroveň intelektu se vyznačuje především vnímáním, chápáním a rozhodováním, pamětí a logikou.

Funkční možnosti zahrnují přizpůsobivost, univerzálnost, možnost přemísťování v prostoru, manipulovatelnost apod.

Mezi fyzické možnosti patří síla, rychlost, schopnost nepřetržité práce, trvanlivost, spolehlivost atd. [4]



Obr. 6 Schematické porovnání člověka a stroje ve výrobním procesu [4]

Na obrázku (obr. 6) je schematicky znázorněn člověk ve výrobním procesu, vyznačující se vysokou úrovní intelektu (potřebného pro daný výrobní proces), poměrně vysokou úrovní funkčních možností, avšak velmi nízkými fyzikálními možnostmi. Stavební a jim podobné stroje, ovládané a řízené přímo člověkem, jako jsou například bagry, scrapery, ale též i balancery, teleoperátory a pod. představují v daném diagramu dvourozměrné stroje v rovině dané osami fyzických možností a funkčních možností. Na druhé straně matematické a jim podobné informační stroje (computery, řídicí systémy) jsou stroje rovněž v daném diagramu dvourozměrné, ale v rovině dané osami fyzických možností a úrovní intelektu, možnost pohybu nemají. Teprve spojením, prolnutím, obou výše dvourozměrně znázorněných strojů vzniká průmyslový manipulátor - robot, představující stroj, odpovídající v tomto schématu trojrozměrnému znázornění člověka ve výrobním procesu. [4]

## **3.2 KINEMATICKÁ KONSTRUKCE SVĚROVACÍHO ROBOTU**

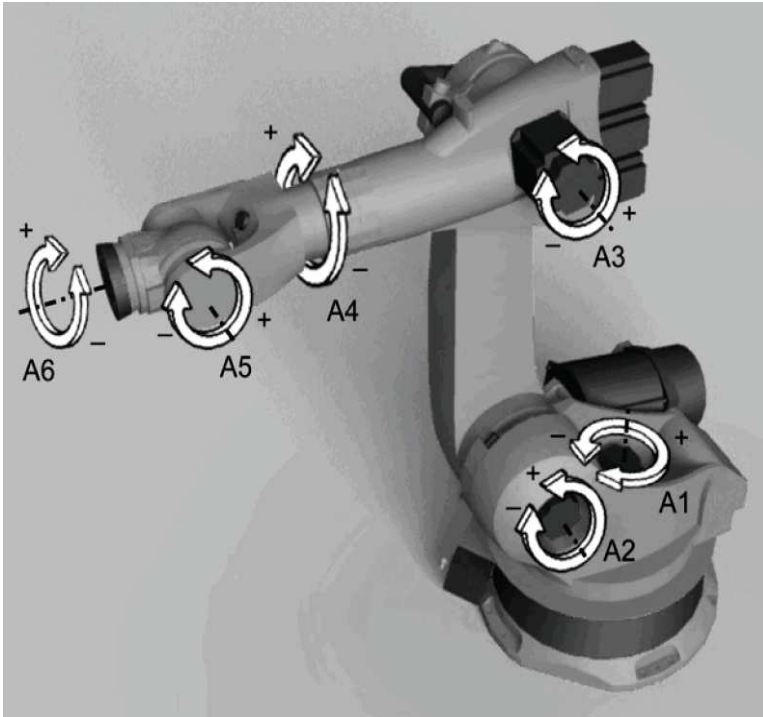
Důležitým kritériem při výběru robota je tvar a velikost pracovního prostoru. Ten je daný kinematikou, tedy kombinací rotačních a posuvných os. V průmyslu převažují roboty se sériovou kinematikou. Roboty se smíšenou nebo paralelní kinematikou se používají jen ve speciálních případech.

V praxi se pro svařování používají především roboty se šesti stupni volnosti. Ve výjimečných případech, kde je tvar svařované součásti složitější, se používají roboty se sedmi pohyblivými osami. Sedmá osa umožňuje zalomit svařovací hořák do velmi nepřístupného místa (především do úzkých prostor), kam by byl dosah šestiosého robota jen omezený. [4,6]

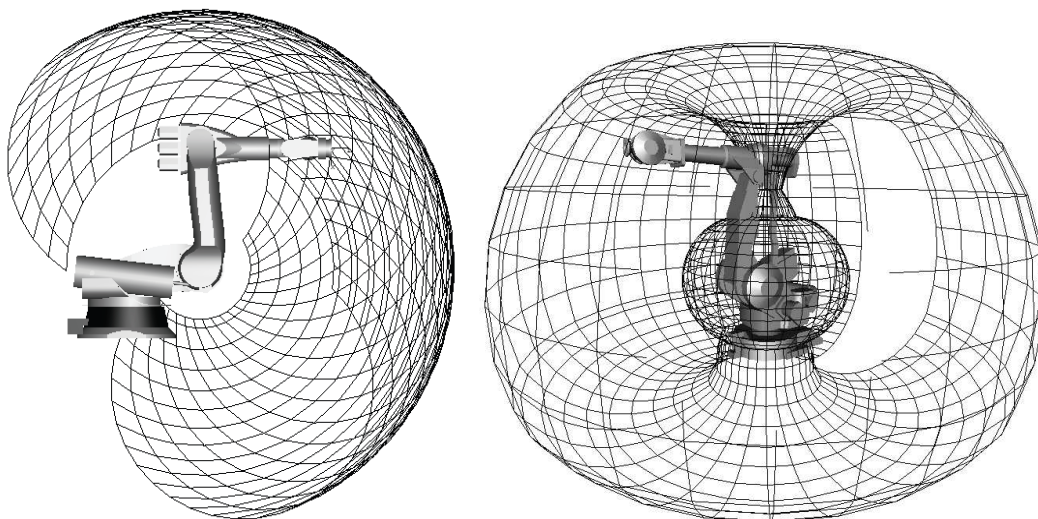
### **3.2.1 6 DOF PRŮMYSLVÝ ROBOT**

Na obrázku (obr. 7) je znázorněna poloha jednotlivých os typického svařovacího robota a možný pohyb v pozitivním nebo negativním směru. Konstrukční uspořádání, poloha a umístění jednotlivých os má vliv na celkový pracovní prostor robota. Na následujícím obrázku (Obr. 8) jsou pak pro ilustraci zobrazeny příklady typických pracovních prostorů pro 6 DOF roboty. [4]

Výrobci svařovacích robotů je celá řada. Mezi nejvýznamnější patří roboty od firmy ABB, Motoman a Kuka.



Obr. 7 Specifikace (poloha) jednotlivých os průmyslového 6 DOF robotu [4]



Obr. 8 Typické pracovní prostory 6 DOF robotů (zleva: KUKA KR150-2 K: pracovní prostor, který vymezují osy 2 a 3; ABB IRB 4400: plný pracovní prostor) [4]

## ROBOT S VEDENÍM KABELÁŽE SVAŘOVACÍHO HOŘÁKU UVNITŘ HORNÍHO RAMENE

V poslední době se často používá svařovací robot s vedením kabeláže svařovacího hořáku uvnitř horního ramene robota, což s sebou přináší řadu výhod:

- až 5x vyšší životnost svařovací kabeláže
- možnost nekonečného otáčení svařovacího hořáku podél své osy
- výrazně lepší dosahy, než-li klasický univerzální robot
- výrazně menší problémy s podavatelností svařovacího drátu při svařování hliníku
- programátor nemá problémy s kabeláží svařovacího hořáku
- výměna svařovacího hořáku zabere velmi málo času. [5]



*Obr. 9 Klasický univerzální robot s vedením kabeláže svařovacího hořáku vně horního ramene robota. [5]*



*Obr. 10 Svařovací robot s vedením kabeláže svařovacího hořáku uvnitř horního ramene robota. [5]*



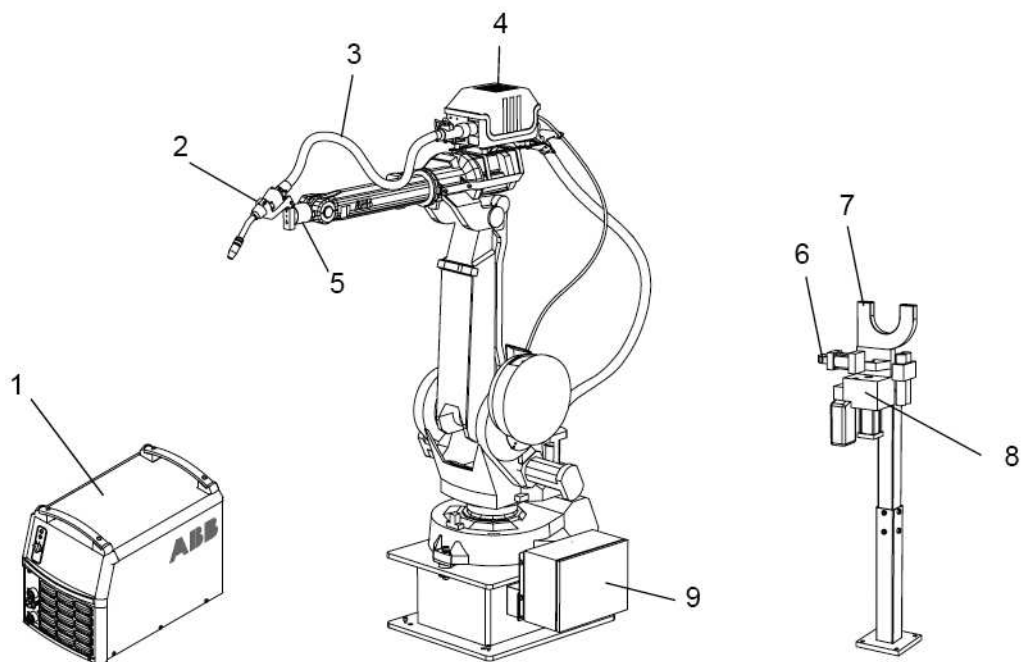
### **3.3 SVAŘOVACÍ PRACOVÍŠTĚ**

Svařovací roboti na pracovišti pohybují po pojezdových drahách, což je vlastně jejich další osa pohybu. Další osy pohybu zajišťují polohovadla a svařovací přípravky, na kterých je svařovaná část upnuta. Každá osa polohovadla je vždy plně synchronizována s pohybem robota (robotů), kteří na daném polohovadle svařují.

Svařovací pracoviště lze podle způsobu technologie rozdělit na dva druhy. Tyto dva způsoby si vyžadují nasazení i různých periférií. [4]

#### **3.3.1 PRACOVÍŠTĚ PRO OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ**

Vyjma základního příslušenství jako je svařovací zdroj, hořák a jednotka pro podávání drátu, je vybaveno také doplňkovými prvky, které zvyšují automatizaci provozu. Z důvodu bezpečnosti je na přírubě robotu používán kolizní senzor, který v případě nechtěného kontaktu hořáku s překážkou změni logickou hodnotu svého výstupního signálu. Tato změna je pak dále vyhodnocena v řídicím systému robotu jako chybový stav a všechny pohony se okamžitě zastaví. U pracoviště, které je vybaveno kolizním senzorem, proto nemusí dojít k poškození jinak mnohem nákladnějšího prvku, jakým je svařovací hořák. Kdyby robot svařoval nepřetržitě, narůstala by chyba způsobená postupným zanášením svařovací hlavičky a podstatně by se tak zhoršila jakost svarů. Z tohoto důvodu bývají svařovací pracoviště vybavena jednotkou na čištění hořáku a zastříhávání svařovacího drátu. Volitelně bývají tyto jednotky osazeny také automatickou kalibrací TCP (tool center point). Vždy po několika svarech robot najede k této jednotce a provede se automatická údržba. Poté je robot opět připraven svařovat. Na Obr. 11 jsou tyto prvky vyobrazeny. [4]

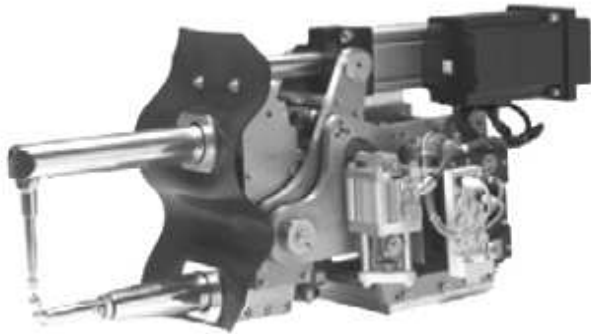


*Obr. 11 Příslušenství pro obloukové svařování: svařovací zdroj (1), svařovací hořák (2), svazek hadic (3), jednotka na podávání drátu (4), kolizní senzor (5), jednotka na čištění hořáku, zastříhávání drátu a kalibraci TCP (6-8), příslušenství pro řízení procesu (9) [4]*

Velmi často se u pracovišť s obloukovým svařováním používají různé typy polohovadel, jejichž pohyb je svázán s pohybem robotu. Robot pak svařuje kontinuálně při současném pohybu svařované součásti, která je uchycena v polohovadle. V poslední době nabízí několik výrobců průmyslových robotů jednoduché typy svařovacích pracovišť, kde jsou všechny prvky, včetně polohovadel a bezpečnostních senzorů integrovány do jedné buňky. Na Obr. 4-8 lze vidět robotickou svařovací buňku pro jeden robot s jednoosým polohovadlem, kterou ve svém sortimentu nabízí firma ABB. [4]

### **3.3.2 PRACOVÍŠTĚ PRO BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ**

V případě bodového svařování je situace, co se týká příslušenství poněkud odlišná. Předně je to úplně jiný nástroj. Bodové svařovací kleště (Obr. ?) jsou mnohem rozměrnější a těžší než je hořák pro obloukové svařování. Z toho důvodu se pro bodové svařování obecně používají roboty s vyšší nosností. Většinou je nutné kleště během provozu dostatečně chladit. Obvykle se tak děje pomocí oběhu přídavného vodního chlazení. [4]



*Obr. 12 Kleště pro bodové svařování [4]*

Robot určený pro bodové svařování musí být vybaven procesní jednotkou, která je obvykle umístěna na jeho patě a zajišťuje pravidelný oběh a hlídání chladicí kapaliny.

Ačkoliv by se mohlo zdát, že bodové svařování je technologicky náročnější vzhledem k vybavenosti průmyslových robotů, je např. v automobilovém průmyslu mnohem rozšířenější. Obecně se dá říci, že cca 70 až 80 % svarů je realizováno pomocí bodového svařování. [4]

## 4 NAVÁDĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

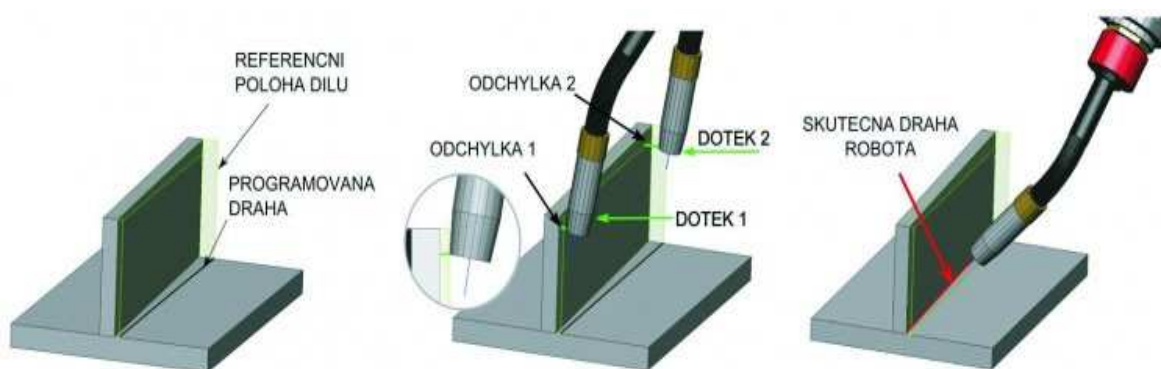
Robot je vysoce přesné zařízení, které své naprogramované dráhy pohybu „projíždí“ s opakovanou přesností např.  $\pm 0,1$  mm! To znamená, že místo svařování musí být rovněž opakovaně s určitou tolerancí na stále stejném místě. Proto je opakovaně stejná rozměrová tolerance jednotlivých dílů při svařování robotem klíčová.

V řadě případů technicky lze jen těžce docílit potřebné rozměrové tolerance svařovaných dílců, která by se měla pohybovat v rozsahu od  $\pm 0,3$  do  $\pm 1,0$  mm podle síly stěny svařence a podmínek svařování. Velké rozměrové tolerance jsou pak problematické a je nutné v těchto případech použít jednu z možností vyhledávání svarů pomocí robota. [5,9]

Roboty lze navádět následujícími metodami:

### 4.1 VYHLEDÁVÁNÍ HUBICÍ SVAŘOVACÍHO HOŘÁKU

Na trysku svařovacího hořáku je při vyhledávací sekvenci přivedeno napětí (čím je toto napětí větší, tím je proces méně náchylný k chybám způsobeným nečistotami, okujemi a rzí). Díky speciálnímu modulu je robot schopen detekovat vodivé spojení trysky a základního materiálu. Pokud k tomuto dojde, robot se zastaví a rozdílem skutečných a naprogramovaných souřadnic vypočítá odchylku pro korekci dráhy.



Obr. 13 Princip fungování dotykového vyhledávání pomocí hubice svařovacího hořáku [13]

Tato standardní metoda vyhledávání je zároveň nejlevnějším řešením dotykového vyhledávání. Limity metody jsou dány geometrickou velikostí trysky hořáku, nelze ji použít v úzkých prostorech.

System by měl být vybaven čistícím kartáčkem, který zbaví vnější povrch trysky nečistot. Tyto nečistoty jinak mohou způsobovat nepřesnosti ve vyhledávání díky falešným dotykům. [13]

## 4.2 VYHLEDÁVÁNÍ KONCEM SVAŘOVACÍHO DRÁTU

Svařovací drát je speciálním zařízením dočasně upevněn v krku svařovacího hořáku. Aby tímto nedocházelo k deformaci drátu ve vedení při pohybech robotu, jsou automaticky uvolněny kladky podavače drátu - tímto se vytvoří potřebná volnost pohybu drátu při samotném vyhledávání. Drát je zastřižen na správnou délku pomocí odstříhávače drátu (typicky umístěn na čisticí jednotce). Tímto postupem je dosaženo vždy stejných podmínek pro vyhledávání.

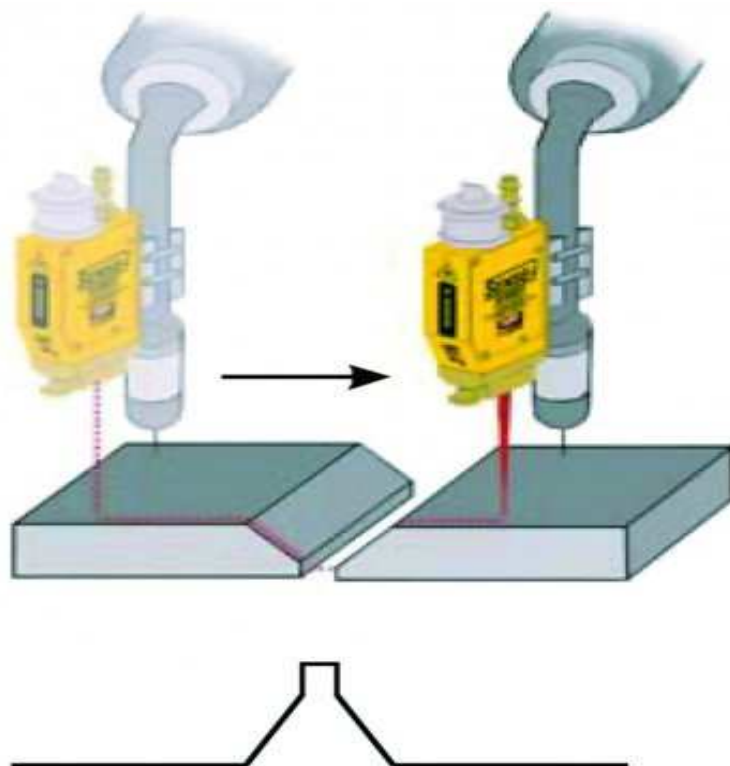
Na svařovací drát je při vyhledávací sekvenci přivedeno napětí (čím je toto napětí větší, tím je proces méně náchylný k chybám způsobeným nečistotami, okujemi a rzí). Díky speciálnímu modulu je robot schopen detekovat vodivé spojení svařovacího drátu a základního materiálu. Pokud k tomuto dojde, robot se zastaví a rozdílem skutečných a naprogramovaných souřadnic vypočítá odchylku pro korekci dráhy.

Vyhledávání koncem svařovacího drátu jako doplněk k vyhledávání tryskou umožňuje kombinovat obě metody. Nevýhodou je nutná investice do zařízení pro fixaci drátu během vyhledávání a relativně malá rychlost vyhledávání cca. do 1 m/min. [13]

## 4.3 VYHLEDÁVÁNÍ POMOCÍ OPTICKÉHO SENZORU

Optické senzory fungují na základě měření odrazu vyslaného paprsku (měření vzdálenosti, přerušení paprsku apod.). Optický senzor je upevněn v blízkosti svařovacího hořáku, robot přejíždí nad plochou, na které vyhledává geometrickou změnu. Pokud je detekována skoková změna vzdálenosti, robot se zastaví a rozdílem skutečných a naprogramovaných souřadnic vypočítá odchylku pro korekci dráhy.

V některých případech jde o jedinou možnou metodu pro vyhledávání zejména tupých nebo čelních spojů, u kterých není možné mezeru mezi díly detekovat mechanicky, zejména z prostorových důvodů. Metoda umožňuje vyhledávání prakticky v libovolné pozici hořáku a vyššími rychlostmi (cca do 10 m.min<sup>-1</sup>), neboť nedochází k mechanickému kontaktu.



Obr. 14 Princip funkce optického senzoru [13]

Optické senzory jsou velice citlivé při použití s reflexními materiály (hliník, nerez apod.) - v těchto případech je vždy nutné odzkoušení. V některých případech lze problémy s falešnými odrazy řešit vhodnou orientací paprsku.

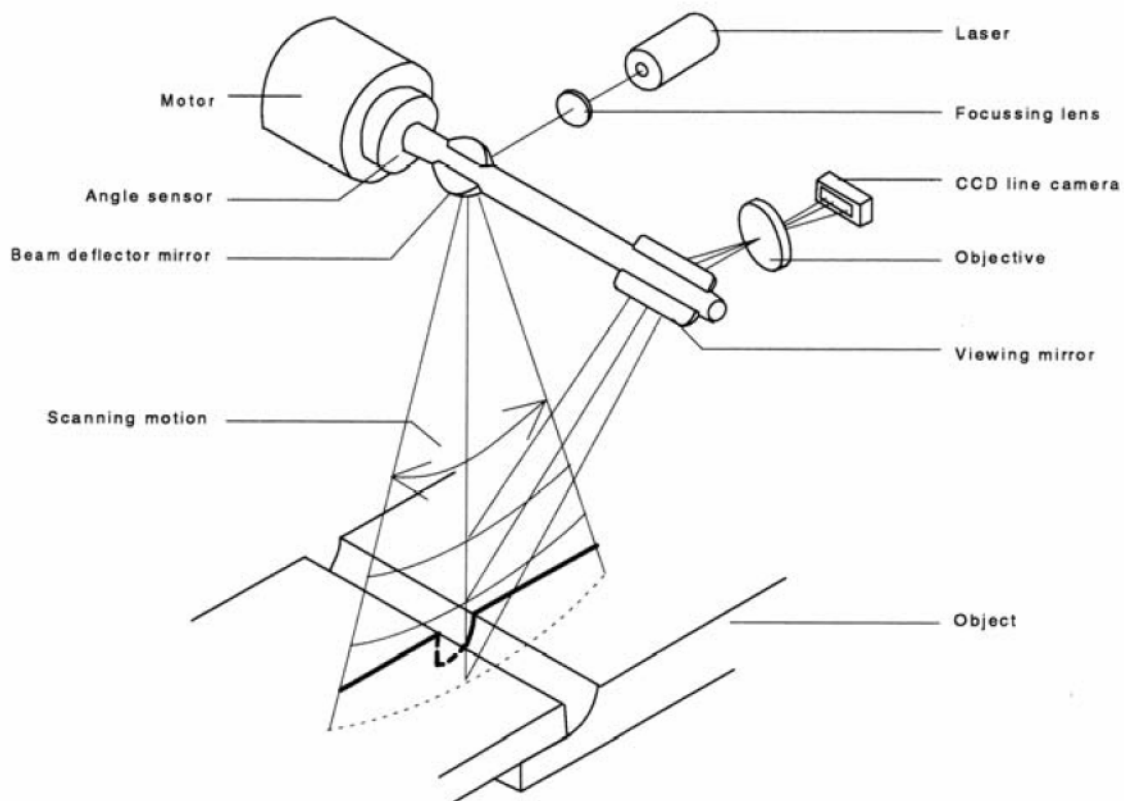
Velikou nevýhodou jsou náklady na pořízení potřebných senzorů, které mohou být násobně (v některých případech i řádově) vyšší než pro vybavení vyhledávání pomocí trysky nebo konce drátu. [13]

#### 4.4 PRINCIPY MODERNÍCH SENZORŮ

Vidět a cítit - to jsou dva smysly, které technologie již dlouho napodobovali. Nyní jsou moderní senzory spolehlivější, přesnější, a rychlejší

##### **Metoda triangulace:**

Optický senzor je upevněn v blízkosti svařovacího hořáku, běží před švem a je schopen detekovat případné odchylky mezi skutečným okrajem původní zdroj souřadnic. Laserový paprsek snímá povrch součásti v okolí svaru. Během snímání, senzor získává 2-D obrázky tvarového profilu jako pole 2-D souřadnic. Když se robot pohybuje, získává kompletní 3-D informace o svarovém švu. [6,14]



Obr. 15 Princip metody triangulace [6]

### Taktilní navádění:

Modernější metodou dotykového snímání je, že se ke svařovacímu hořáku připevní hmatový senzor, který snímá nerovnosti povrchu před hořákem. Když snímač zaznamená jakoukoliv odchylku od původní trajektorie, upraví ji tak, aby svar co nejpřesněji kopíroval svarový šev.

Výhody oproti optickým snímačům:

- nejsou citlivé na svarový rozstřík nebo vnější světlo
- jednoduché použití, intuitivní princip fungování
- předstih snímače může být snížen téměř na nulu [14]

# 5 BILANCE ROBOTIZOVANÉHO SVAŘOVÁNÍ

## 5.1 VÝHODY ROBOTIZOVANÉHO SVAŘOVÁNÍ

### a) Vyšší postupová rychlost

Výhodou robotizovaného svařování je možnost zvýšení postupové rychlosti svařování až o 30%. Svářeč také může svařovat „rychleji“. Ovšem svářeč je jen člověk a na toto vyšší tempo svařování se musí více soustředit. Po několika minutách se unaví, začne se méně soustředit a vzniknou chyby ve svarech. U robotizovaného svařování robot projíždí své předem naprogramované dráhy s vysokou přesností (s přesností  $\pm 0,08$  mm!), proto lze svařovací parametry robota nastavit vyšší a postupová rychlost svařovacího robota bude rychlejší. [5]

### b) Jiný poměr času hoření oblouku

Druhou zásadní okolností je zcela jiný poměr času hoření svařovacího oblouku vůči manipulaci a přejezdům - přesunům svařovacího hořáku při svařování. Obecně lze říci, že pokud svářeči hoří svařovací oblouk z 20 % jeho celkového fondu pracovní doby, pak je to svářeč, který skutečně svařuje velmi intenzivně.

Je jen málo firem, u kterých lze říci, že jejich poměr hoření oblouku některých svářečů je vůči ostatnímu času doprovodných prací tohoto svářeče v poměru 20 : 80. Běžnější je hodnota 10 : 90.

U robotizovaných pracovišť je tento poměr většinou 60 : 40, v mnoha případech i 80 : 20. K tomu, aby bylo možné docílit tak vysokého poměru času hoření oblouku, musí dané robotizované pracoviště splňovat jednu hlavní podmínku. Pracoviště musí být vybaveno minimálně dvěma pracovními místy. Zatím co na jednom z nich robot provádí svařování, v mezi čase na druhém obsluha chystá a upíná dílce pro svařování. V řadě případů může být robotizované pracoviště vybaveno třemi nebo i čtyřmi pracovními místy. [5]

### c) Konkrétní úspory nákladů

Při dobře organizované výrobě jedno průměrné robotizované pracoviště nahradí 4-6 svářečů v jedné směně. Pokud tedy budeme uvažovat s dvou směnným provozem a náklady na jednoho svářeče budeme počítat např. 35 tis. Kč měsíčně, pak roční úspora nákladů na jednoho svářeče činí 420.000 Kč. Pokud tedy robotizované svařovací pracoviště nahradí v jedné směně např. 5 pracovníků, při dvousměnném provozu činí celková úspora 4,2 mil. Kč. Návratnost investice např. kolem 3,5 mil. Kč za kompletní dodávku robotizovaného pracoviště je pak necelý jeden rok. [5]



#### **d) Opakovaná kvalita svarů**

Nezanedbatelnou výhodou používání robotizovaných pracovišť je rovněž opakovatelná kvalita svarových spojů. Pokud uživatel zajistí opakovatelnou kvalitní přípravu výroby jednotlivých polotovarů, které se na robotizovaném pracovišti svařují, robot tyto dílce svaří vždy stejně. To má velký význam např. při svařování dílců pro automobilový průmysl, pro nábytkářský průmysl, pro stavební stroje a zařízení nebo při svařování dílců, kde jsou předepsané zkoušky kvality svarů apod.

Základní výhody používání průmyslových robotů ve svařování shledávám v podstatně vyšší produktivitě práce a zvýšené kvalitě svarových spojů. [5]

## **5.2 ÚSKALÍ ROBOTIZOVANÉHO SVAŘOVÁNÍ**

### **a) Výběr vhodného modelu robot. pracoviště**

Jedno ze základních úskalí svařování na robotizovaném pracovišti vzniká hned z počátku při jeho pořízení. Volba správného modelu robotizovaného pracoviště může zcela zásadně ovlivnit některé z výhod robotizovaných pracovišť. [5]

### **b) Opakovaná přesnost přípravy dílců pro svařování**

Podstatně větším úskalím svařování na robotizovaném pracovišti je opakovaná přesnost přípravy dílců pro svařování. Je potřeba si představit tu skutečnost, že robot „nevidí“. Opakuje svůj pohyb svařovacím hořákem vždy stejně, po předem naprogramovaných drahách.

Programování probíhá tak, že programátor naprogramuje pohyb robota na prvním kusu upnutého svařence. Obsluha pak upne do robotizovaného pracoviště druhý kus a je-li tento druhý kus na jiném místě nebo má svůj tvar nepřesně upravený, robot provede svar v jiných podmínkách, než-li tomu bylo na prvním kusu. Takto pak vznikne vada ve svaru - zmetek. [5]

### **c) Bezpečnost práce**

V nedávné minulosti, ale i v současné době se stále zpřísňují pravidla pro konstrukci bezpečných robotizovaných pracovišť a pravidla bezpečného používání těchto zařízení.

Hlavními kritérii pro bezpečnou práci na každém robotizovaném pracovišti jsou především splnění těchto základních podmínek:

- robot nesmí mít možnost do obsluhy v žádném případě narazit
- robot nesmí oslňovat obsluhu svařovacím obloukem
- pokud robotizované pracoviště používá otočná polohovadla, musí být každé toto polohovadlo chráněné proti nežádoucímu vstupu bezpečnostními prvky
- veškeré bezpečnostní prvky robotizovaného pracoviště musí být řízeny nadřazeným, nezávislým řídicím systémem

Velmi často se stává, že robotizované pracoviště nemá vůbec žádné bezpečnostní prvky a je nebezpečné.

Na trhu v ČR i SR je řada firem, které robotizovaná pracoviště pouze tzv. přeprodávají, tedy nakupují je v zahraničí. Řada těchto pracovišť však nespĺňuje ani základní bezpečnostní požadavky. Použité bezpečnostní prvky neodpovídají ani základním požadavkům legislativy. Nejsou správně umístěny z hlediska vypočítaných odstupových vzdáleností od zdroje rizika apod. Týká se to také dovozu starších pracovišť. [5]

### **d) Lidské zdroje, dobrý svařovací technik**

Dobrý programátor si umí poradit i s nepříznivými technologickými podmínkami svařování. Obecně však platí, že programátor svařovacích pracovišť by měl být svářeč, který má základní znalost obsluhy PC.

Pokud uživatel začíná s robotizovaným svařováním, vždy se z počátku vyskytnou problémy, které nelze dopředu před pořízením investice přesně definovat. Dobrý programátor si však bude vědět rady a výrazným způsobem zkrátí čas zkušebního provozu robotizovaného pracoviště před běžnou výrobou.

Při pořízení svařovacího robota je vhodné mít k dispozici technologa svařování. Tedy odborníka, který pomůže s nastavením vhodných svařovacích parametrů. [5]

## ZÁVĚR

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo popsat problematiku průmyslového svařování, především pak svařování průmyslovými roboty. V jednotlivých kapitolách jsem se snažil co nejsrozumitelněji proniknout do dané problematiky a v každé z nich přinést nejdůležitější informace o jednotlivých oblastech.

V současné době zažívá robotizované svařování největší rozvoj především díky rozmachu automobilového průmyslu, kde je v pracovním procesu drtivá většina z celkového počtu svařovacích robotů. Nejvhodnější a nejdůležitější metodou je v tomto případě bodové svařování, které se používá pro svařování karosérií.

Co se technologie obloukového svařování týká, je všechno podstatné již vymyšleno. Současné trendy směřují spíše k dokonalejšímu online vyhledávání svarového spoje. Moderní taktilní nebo optické metody dokáží Potřeba přesnějšího navádění lze částečně eliminovat specializovanými svařovacími přípravky. Moderní doba ale spěje k větší flexibilitě provozu. Používají se universálnější přípravky, které jsou méně přesné a svařovací robot si musí umět s takovými podmínkami poradit.

V současné době má největší potenciál svařování laserové. Je to relativně nová technologie která proniká do všech průmyslových odvětví a v současné době je nepostradatelná především v elektrotechnice a při výrobě lékařské techniky, díky možnosti velmi přesného zaostření laserového paprsku.

Co se České republiky týká, smutné konstatování je, že každé třetí robotizované svařovací pracoviště v ČR i SR je zcela nefunkční, případně umožňuje jen částečné využití proti původnímu záměru při pořízení investice. A každé druhé robotizované pracoviště je zcela nezabezpečeno proti úrazu obsluhy nebo zabezpečeno jen částečně. Tato situace není dána např. špatnou technikou nebo špatným zařízením, ale neodborností pracovníků firem, kteří robotizovaná pracoviště nabízejí.

Vzhledem k již dříve zmiňované rozsáhlosti daného odvětví, nebylo možné v rozsahu bakalářské práce proniknout v jednotlivých kapitolách do takové hloubky, jaké by si robotizované svařování jistě zasloužilo.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KUBÍČEK, Jaroslav. **TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ : Díl 1 ZÁKLADNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ** [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>>.
- [2] KUBÍČEK, Jaroslav. **TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ : Díl 2 SPECIÁLNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ** [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>>.
- [3] Svařování. In **Wikipedia : the free encyclopedia** [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 19.5.2011 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD>>.
- [4] BLECHA, Petr, et al. **Mechatronika : Modul 10: Robotika** [online]. Brno : VUT, 2008 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.adam-europe.eu/prj/3810/prd/1/7/Modul%2010%20Tschechisch%20komplett.pdf>>.
- [5] In Hadyna - International, spol. s r. o. **Průmyslová robotizace : svařování a řezání kovů** [online]. [s.l.] : [s.n.], 02/2009 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <[http://www.hadyna.cz/download/Robotizace\\_CZ.pdf](http://www.hadyna.cz/download/Robotizace_CZ.pdf)>.
- [6] PIRES, J.N. **Welding Robots: Technology : System Issues and Applications**. Springer, 2006. 180 s. ISBN 978-1-85233-953-1.
- [7] MIG. In **Wikipedia : the free encyclopedia** [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 5.2.2011 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/MIG/MAG>>.
- [8] WIG. In **Wikipedia : the free encyclopedia** [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 4.2.2011 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/WIG>>.
- [9] Přesné svařování nepřesných dílců. **Svět svaru** [online]. 2006, 03, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.hadyna.cz/svetsvaru/issue/SS06-3.pdf>>.
- [10] ROUBÍČEK, Martin. Laserové svařování - ekonomika a kvalita. **Konstrukce.cz** [online]. 2006, 2, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/laserove-svarovani-ekonomika-a-kvalita>>.
- [11] KOŘÁN, Pavel. **Poslední trendy ve svařování laserem** [online]. 7.1.2010 [cit. 2011-05-26]. Inovace.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.inovace.cz/for-life/nove-technologie-v-praxi/clanek/posledni-trendy-ve-svarovani-laserem/>>.
- [12] ZATLOUKAL, Petr. **Welding.cz** [online]. 2007 [cit. 2011-05-26]. Laserové svařování. Dostupné z WWW: <<http://www.welding.cz/laser/svarovani.htm>>.

[13] VAVREČKA, Jakub. *Mmspektrum.com* [online]. 2009 [cit. 2011-05-26]. Fakta a mýty o dotykovém vyhledávání při robotickém svařování. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/fakta-a-myty-o-dotykovem-vyhledavani-pri-robotickem-svarovani>>.

[14] Discover the potentials of seam tracking. In *Scansonic* [online]. Berlin, Germany, [cit. 2011-05-26]. Dostupné z WWW: <[http://www.scansonic.com/files/pdf/Discover-Seam-Tracking\\_Scansonic\\_200908.pdf](http://www.scansonic.com/files/pdf/Discover-Seam-Tracking_Scansonic_200908.pdf)>.