



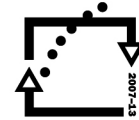
evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj Registrační číslo:  
CZ.1.07/1.1.08/03.0009**

# Historie svařování

**Historii svařování** lze datovat již od doby prvních pokusů člověka při tepelném zpracování kovů zhruba již k roku 4000 př. n. l.

Technika kovářského svařování byla používána od nejranějších metalurgických pokusů, výroby zbraní i primitivních nástrojů a až do 19. století jako hlavní a jediná technika pro spojování kovů.

Ke konci 19. století se začalo rozvíjet svařování plamenem a obloukové svařování, které se stalo ve 20. století dominantní. Urychlení vývoje metod svařování nastalo především během první a druhé světové války. V druhé polovině 20. století byly vyvinuty speciální metody svařování využívající plasmu, laser i elektronový paprsek. Poslední velkou invencí na poli svařování je metoda třetího svařování promíšením vyvinutá v 90. letech minulého století.

Obloukové svařování se začalo vyvíjet až v devatenáctém století po objevu fenoménu elektrického oblouku nezávisle na sobě Angličanem Humphrey Davyem (1801) a Rusem Vasilem Patrovem (1803). V roce 1808 předvedl Humphry Davy hoření elektrického oblouku v Royal Institute v Anglii. Název elektrický oblouk však použil o mnoho let později

Na základě poznatků Humphrey Davyho provedl Angličan Wilde jednoduché spojení dvou kusů železa elektrickým obloukem pro tento postup mu byl v roce 1865 udělen první patent týkající se svařování kovů za použití elektrického proudu.

Teprve až v roce 1881 [francouzský](#) vědec Auguste DeMeritens použil, pravděpodobně jako první, elektrický oblouk jako takový při svařování olověných desek uhlíkovými elektrodami. Uhlíkovou elektrodu připojil na záporný pól a svařované předměty na kladný, tzv. přímé zapojení. Pro svůj postup si nechal ve Francii vydat patent. Jako zdroj elektrického proudu posloužily akumulátorové baterie.

Rus Nikolaj Slavjanov použil v roce 1888 kovovou elektrodu, která se při svařování postupně odtavovala. Svůj postup nazval *svařování kovů odléváním*.

Charles L. Coffin si byl vědom potřeby ochrany roztaveného svarového kovu před negativními vlivy působení okolní atmosféry, proto v roce 1889 požádal o patent, ve kterém navrhl proces svařování v neoxidujícím médiu, které je možno aplikovat za zvýšeného i normálního atmosférického tlaku jako plyn nebo roztok. A v následujícím roce – bez znalosti práce Nikolaje Slavjanova – si nechal patentovat vlastní postup svařování elektrickým obloukem při použití kovových tyček jako elektrod.

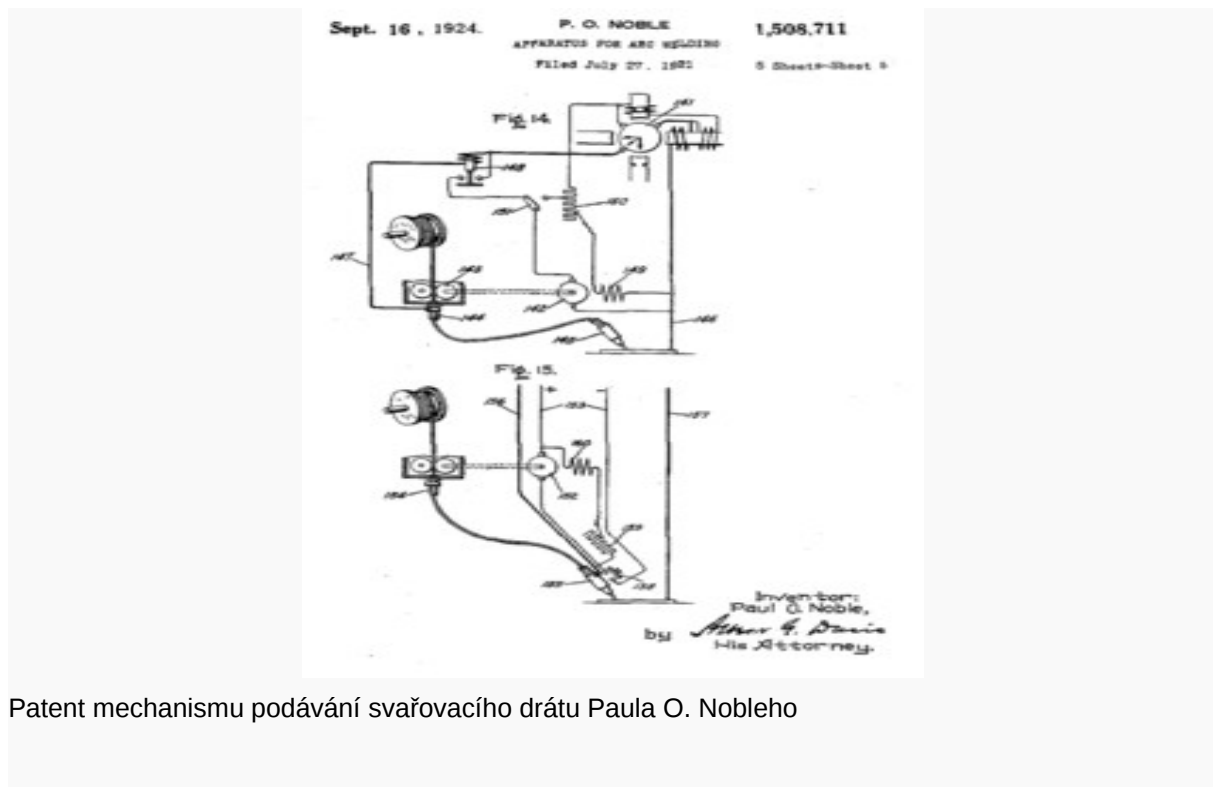
Proces svařování holými kovovými elektrodami nebyl dostatečně efektivní při zvyšující se průmyslové potřebě. Pro zvýšení kvality svarů - zejména tažnosti - byly vyvinuty elektrody s kovovým jádrem a obalem z prvků a sloučenin, které zvýšily ochranu svarového kovu, pomohly při rafinaci svarové kovu a zvýšily stabilitu hoření elektrického oblouku. Právě Oscar Kjellberg, zakladatel švédské firmy *ESAB*, v roce 1907 opatřil kovovou odtavující se elektrodu obalem z uhlíčitanů a křemičitanů tzv. obalovaná elektroda.

Během první světové války byly kladeny zvýšené požadavky na vývoj nových postupů svařování v souvislosti se zbrojní výrobou. Obloukové svařování se používalo zejména v Anglii při opravách lodí, výrobě ocelových plášťů pum, min a torpéd.

V roce 1919 byla vyvinuta a patentována kovová elektroda s celulózovým obalem, která umožňovala vyrábět svary o vysoké houževnatosti a bez strusky.

Krátce po válce, v roce 1920 Angličané již vyrobili svoji první celosvařovanou loď *HMS Fuglar*, ve Švédsku Kjellberg člun *ESAB IV* a v USA byl spuštěn na vodu celosvařovaný tanker *Poughkeepsie Socony*<sup>1</sup>. O tři roky později byl v Torontu postaven první celosvařovaný most, dlouhý 152 m.

Jedním z klíčových momentů pro následující vývoj obloukového svařování byla práce Paula O. Nobleho, který si nechal v roce 1924 patentovat svůj postup svařování stejnosměrným proudem za použití svařovacím napětím ovládaného podávání svařovacího drátu.



Patent mechanismu podávání svařovacího drátu Paula O. Nobleho

Významný americký fyzik a chemik, nositel Nobelovy ceny za chemii, Irving Langmuir studoval chování elektrickým obloukem ionizovaného plynu, který nazval plasmou. Svě výzkumy zaměřil i na chování atomárního vodíku a v roce 1924 navrhl a požádal si o patent, jehož předmětem bylo tzv. svařování atomárním vodíkem. Hoření elektrického oblouku mezi dvěma elektrodami z *ohnivzdorného kovu např. wolframu*, jak je uvedeno v patentové přihlášce ve vodíkové atmosféře způsobuje disociaci a rekombinaci molekul vodíku za uvolnění velkého množství tepla.

Langmuir spolu s Peterem P. Alexanderem představili a nechali si patentovat v roce 1925 zařízení pro svařování využívající externě dodávanou ochrannou atmosféru směsi vodíku a dusíku o vysoké čistotě. V roce 1926 Philip K. Devers použil argon a Henry M. Hobartelium jako ochranné atmosféry pro svarovou lázeň. Oba patenty používaly kombinovaný svařovací hořák, kterým procházel jak svařovací drát, tak proud ochranného inertního plynu. Peter P. Alexander o rok později navrhl jako ochrannou atmosféru směs propanu a vodíku při svařování nízkouhlíkovou elektrodou.

Elihu Thomson další rok navrhl směs propanu a oxidu uhličitého jako ochranné atmosféry při svařování kovovou nebo uhlíkovou elektrodou.

V roce 1928 v East Pittsburghu byl přes Turtle Creek (tj. Želví potok) postaven první celosvařovaný most v USA společnými silami firem Westinghouse Elektrik a *Manufacturing Company*. Most byl dlouhý 18,6 m a vážil cca 10 tun.

Vysokovýkonná metoda svařování pod tavidlem, byla v roce 1929 vyvinuta a přihlášena k patentu jako *Method of Weldin* společností *National Tube*. Práva na tento patent v roce 1935 zakoupila

společnost *Linde Air Product*, která přejmenovala metodu na *Union-melt*. O rok později byla metoda využita při výrobě tankeru o délce 153 metrů.

V roce 1931 se v kladenské Poldině huti začaly svařovat korozivzdorné oceli atomárním vodíkem a ve Vítkovických železárnách nádoby prokrakování s tloušťkou stěny 50 mm.



Tyršův most z roku 1933

Na počátku třicátých let 20. století byly v Plzni postaveny dva svařované mosty. První, který byl postaven v roce 1931 ve Škodových závodech přes železniční trať, byl svařován holými elektrodami. Druhý, dnešní Tyršův most přes řeku Radbuzu, byl postaven o dva roky později. Se svým rozpětím 49,2 m byl v té době největší na světě. Autorem obou mostů byl významný český propagátor svařování, inženýr a později profesor ČVUT v Praze František Faltus.

John J. Chyle z *A. O. Smith Corporation* vynalezl elektrodu s obalem z celulózy, křemičitanů a rutilu, které byly vhodné pro svařování ve všech polohách, pro kterou si v roce 1932 podal patentovou přihlášku.

Na základě předchozích kroků Langmuira, Deverse a Hobarta, navrhli V. H. Pavlecka a Russ Meredith z [Northop Aircraft Inc.](#) nový postup svařování s netavící se wolframovou elektrodou při svařování hořčíku, hliníku a niklu v ochranné atmosféře hélia v roce 1941. Tato nová metoda znamenala velký krok kupředu při svařování materiálů používaných v leteckém oboru, zvláště ve vojenském letectví na začátku II. světové války.

Hobart a Devers pracovali na metodě svařování v ochranné atmosféře od dvacátých let minulého století kdy si nechali patentovat postupy svařování v inertních plynech. Teprve až v roce 1940 spolu úspěšně završili vývoj metody svařování tavící se elektrodou v ochranném inertním plynu v *Battelle Memorial Institute* za přispění sponzorského daru *Air Reduction Company*. Uvedená a modernizovaná metoda se dnes používá pod názvem MIG.

Protože svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře vyžadovalo použití inertních plynů, např. argonu nebo hélia, které byly velmi nákladné, přišli Ljubavský a Novošilov s použitím  $\text{CO}_2$  jako ochranné atmosféry v roce 1953. Díky tomu se metoda stala efektivní i pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Použití  $\text{CO}_2$  zlevnilo tuto svařovací metodu tak, že se stala efektivní i pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

Od svařování netavicí se elektrodou v inertních plynech byla odvozena v roce 1953 metoda svařování plasmou s lepší stabilitou hoření oblouku a vyšší koncentrací tepla.

V roce 1954 vyvinul Bernard elektrodu plněnou tavidlem, tzv. trubičkový drát, který si o tři roky později nechal patentovat. Kromě dodávaného plynu tvořily ochrannou atmosféru také plyny, vznikající z tavidla při hoření oblouku.

V Ústavu svařování v ukrajinském Kyjevě Jevgenij Paton ve spolupráci s Výzkumným ústavem zvaračským v Bratislavě Jozefem Čabelkou zdokonalili metodu elektrostruskového svařování a přestavili v roce 1958 na světovém veletrhu v Bruselu.

V roce 1959 byly vyvinuty plněné elektrody, které při hoření elektrického oblouku zajistily dostačující množství ochranné atmosféry z tavidla, aniž bylo třeba dodávat další plyny.

Kovem plněné (trubičkové) elektrody, které byly přestaveny na začátku [60. let 20. století](#), umožňovaly vyšší výkon odtavení.

V roce 1957 si nechal Nelson E. Anderson patentovat způsob svařování tzv. impulsním proudem, při kterém dochází k pravidelnému střídání vysokého a nízkého svařovacího proudu.

V šedesátých letech došlo k vývoji selenového usměrňovače, díky kterému bylo možné použít transformátor jako zdroj stejnosměrného svařovacího proudu. Pozdější modifikace umožnily použití vysokofrekvenčního proudu jako vhodného svařovacího proudu zvláště pro metodu TIG (WIG). Poslední kroky vedly k optimalizování dynamických charakteristik svařovacích zdrojů, tj. průběhu svařovacího proudu a napětí v závislosti na čase.

V roce 1961 byla vyvinuta vysokovýkonná metoda vertikálního svařování silnostěnných zařízení (zejména tlakových nádob) na základě metody elektrostruskového svařování. Kromě z tavidla vytvořené strusky, která chránila svar byla použita i externě dodávaná plynová ochranná atmosféra.

V dalších letech až do současnosti leží těžiště vývoje svařování elektrickým obloukem zejména na zdokonalování svařovacích zdrojů, přídavných materiálů a ochranných plynech za účelem zvyšování efektivity svařovacích procesů.

### **Svařování plamenem**

Prvním krokem k plamenovému svařování byl vynález hořáku pro kyslíko-vodíkový plamen americkým chemikem Robertem Harem v roce 1801.

Vlastnosti acetyleny jako plynu sice popsal již v roce 1836 Edmund Davy, ale až francouzský chemik Marcelin Berthelot mu dal název acetylen a zavedl jej do technické praxe v roce 1860. Objev postupu průmyslové výroby karbidu vápníku v roce 1892 Francouzem Henrim Moissanem umožnil zkonstruovat první vyvíječe acetyleny pro komerční účely. V následujících letech francouzský chemik Henry LeChatellier zkoumal fenomén hoření kyslíko-acetylenové směsi.

Po vynálezu svařovacího hořáku Charlesem Picardsem v roce 1901 v Paříži, bylo kyslíko-acetylenové svařování představeno komerčně v roce 1903. Přesně o deset let později Percy Avery a Carl Fisher představili první tlakovou láhev pro acetylen.

### **Odporové svařování**

V padesátých letech 19. století James Joule experimentoval se svařováním svazků drátů teplem generovaným elektrickým proudem. Elihu Thomson v roce 1886 tuto metodu zdokonalil a dnes je známa pod názvem svařování elektrickým odporem. Na přelomu [19.](#) a [20.](#) století byly dále rozvíjeny svařovací stroje pro režim měkkého odporového svařování.

### **Laserové svařování**

První laserový paprsek se podařilo vytvořit použitím krystalu syntetického rubínu Theodoru Maimanovi v roce 1960. V roce 1964 C. Kumar N. Patel vyvinul výkonový plynový CO<sub>2</sub> laser, vhodný pro svařování a řezání. V roce 1967 R. T. Houldcroft navrhl trysku pro laserové řezání, kterou bylo výrazně vylepšeno zaměření ohniska v ochranném plynu. Pro svařování ventilů použil General Motors v roce 1976 CO<sub>2</sub> laser jako první v automobilovém průmyslu. V roce 1987 bylo vyvinuto žárové stříkání kovových slitin za pomoci laseru. Další aplikace laseru byly vyvinuty v posledních desetiletích pro dělení silnějších materiálů s více ohnisky nebo použití laseru v kombinaci s metodami obloukového svařování.

### **Svařování elektronovým paprskem**

V padesátých letech 20. století byla ve Francii vyvinuta metoda svařování elektronovým paprskem J. A. Stohrem. Elektronový paprsek byl použit pro svařování částí kosmické lodi Sojuz 6 z hliníkových slitin v již roce 1967. V USA bylo využito svařování elektronovým paprskem v 70. letech 20. století pro svařování korozivzdorných ocelí a čistého tantalu a slitintitanu, např. Ti-6Al-4V pro kostry vojenských letadel F 14 a F 15

### **Svařování výbuchem**

Již v roce 1944, během druhé světové války, L. R. Carl popsal "svařování za velké rychlosti" při experimentech s bronzem. V šedesátých letech 20. století použil V. Philipchuk experimentálně výbuch pro tváření hliníkových profilů a pravděpodobně jako první použil svařování výbuchem pro komerční účely a nechal si tento postup patentovat v Kanadě. Mezitím Arnold Holtzman z americké chemické společnosti DuPont pracoval na zpevňování kovů při využití explozí. V roce 1964 byl firmě DuPont udělen patent a v roce 1965 začala komerčně vyrábět bimetalické desky svařané výbuchem.

### **Difúzní svařování**

Difúzní svařování bylo navrženo v Sovětském svazu N. F. Kazakovem v roce 1956. V následujících letech až do současnosti jsou vyvíjeny postupy pro difúzní svařování různých slitin kovových materiálů, např. niklových a kobaltových superslitin a dalších.

### **Třecí svařování**

Třecí svařování bylo poprvé předstveno v Sovětském svazu v polovině padesátých letech 20.století, kdy bylo i použito pro svaření rotujících těles. V roce 1991 byla ve Velké Británii vyvinuta a představena nová inovativní metoda třecí svařování promíšením ( Friction Stir Welding)