



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH PODAVAČE DRÁTU PRO TIG METODU

DESIGN OF WIRE FEEDER FOR TIG PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Kozumplík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček, IWE

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Filip Kozumplík**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubiček, IWE**
Akademický rok: 2023/24

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:

Návrh podavače drátu pro TIG metodu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Svařování wolframovou netavicí se elektrodou v ochranném plynu TIG je ve většině aplikací s ručním podáváním drátu. Pro snadnější a rychlejší proces svařování TIG je výhodné použít mechanizované podávání drátu. Posuv drátu však závisí na svařovacích parametrech a BP řeší návrh hardwaru řídicí jednotky, která na základě těchto údajů v reálném čase řídí podávání drátu do svarové lázně.

Cíle bakalářské práce:

Provést literární studii dané problematiky svařování.
Rozbor principu a funkce podavačů drátu u metody MAG a TIG.
Návrh pohonu a hardwaru řídicí jednotky podavače.
Technické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Welding, brazing, and soldering. 10. vyd. Ohio: METALS Park, 2016. ISBN 978-0871703828.

AMBROŽ, Oldřich; KANDUS, Bohumil a KUBÍČEK, Jaroslav. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

MUSIL, Miloslav; MORAVEC, Jaromír et al. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017.

HRIVŇÁK, Ivan. Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. Bratislava: VEDA, 1989. ISBN 80-224-0016-5.

ONDREJČEK, Peter. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, Bratislava: ETERNA PRESS, 2003. ISBN 80-968359-5-5.

ORSZÁGH, Viktor a ORSZÁGH, Peter. Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. ISBN 80-88780-2-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se věnuje návrhu podavače drátu pro TIG svařování, jeho pohonu a řídicí elektroniky, schopné reagovat na změny svařovacích parametrů. Nejprve byly porovnány různé druhy pohonů a zhodnocena jejich vhodnost pro pohon podavače z hlediska regulace, přesnosti, rychlosti a točivého momentu. Byl vybrán krokový motor s planetovou převodovkou. Poté byl navržen hřídelový adaptér, propojující převodovku s podávacím mechanismem. Na základě pevnostních výpočtů byly stanoveny požadavky na mechanické vlastnosti materiálu pro jeho výrobu. Bylo navrženo těleso adaptéru z hliníkové slitiny, ve kterém je uložen hřídelový adaptér a němuž jsou přimontovány ostatní části podávacího ústrojí. Také byla navržena řídicí elektronika podavače. Tato je rozdělena do několika obvodových desek, z nichž každá plní konkrétní funkci. Byl navržen obvod pro bezpečné měření svařovacího napětí, odolný proti vysokofrekvenčnímu zapalovacímu impulzu, obvod pro ochranu pohonu před zapalovacím impulzem a obvod pro detekci dotyku přídavného materiálu se svařencem. Rovněž byl navržen ovládací panel a hlavní řídicí jednotka podavače s mikrokontrolerem.

Klíčová slova

svařování, TIG, podavač drátu, návrh, přídavný materiál

ABSTRACT

This thesis describes the design of a wire feeder for TIG welding, its drive and control electronics, capable of reacting to changes in welding parameters. First, different types of drives were compared and their suitability for the wire feeder was evaluated with regard to their regulation, precision, speed and torque. A stepper motor with a planetary gearbox was selected. Then, a shaft adaptor has been designed, coupling the gearbox to the wire feed. Based on strength calculations were obtained the requirements for mechanical properties of material for its production. An adaptor body from an aluminum alloy has been created, housing the shaft adaptor and to which the gearbox and wire feed are mounted. Also, the control Electronics have been designed. The control system is split into several boards, each fulfilling a specific purpose. A circuit has been developed, capable of a safe measurement of arc voltage and able to withstand the high frequency ignition pulse. In addition, a circuit for protection of the drive against said pulses, circuit for detecting contact between the filler wire and the workpiece, main control board with a microcontroller and a control panel have also been designed.

Keywords

welding, TIG, wire feeder, design, filler material

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOZUMPLÍK, Filip. *Návrh podavače drátu pro TIG metodu* [online]. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157733>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh podavače drátu pro TIG metodu vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 24. 5. 2024

místo, datum

Filip Kozumplík

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Kubíčkoví, IWE za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl srdečně poděkovat Pavlu Humlachovi ze společnosti EWM HIGHTEC WELDING s.r.o. za poskytnutí jinak nezjistitelných informací o chování svařovacích zdrojů a procesů. Také děkuji Marku Gincelovi, Ondřeji Kardošovi, Martinu Kolečákovi a Bc. Jakubu Lysákovi za rady ohledně rozvržení a osazování elektronických obvodových desek.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 Rozbor zadání	10
2 PROBLEMATIKA PODÁVÁNÍ DRÁTU PŘI TIG SVAŘOVÁNÍ.....	11
2.1 Svařovací metoda TIG.....	11
2.2 Podavače drátu pro svařování.....	16
3 NÁVRH PODAVAČE DRÁTU PRO TIG METODU	21
3.1 Návrh pohonné jednotky podavače	21
3.2 Návrh řídicí elektroniky podavače	27
3.2.1 Ovládací panel	28
3.2.2 Deska pro ochranu podavače před vysokým napětím zapalovací jednotky	29
3.2.3 Deska pro vyhodnocení dotyku drátu a základního materiálu	30
3.2.4 Deska pro měření svařovacího napětí.....	31
3.2.5 Hlavní řídicí deska.....	32
4 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ.....	33
ZÁVĚR.....	34

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

ÚVOD

Ruční svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu TIG (WIG) je často využívaná metoda, především pak pro svařování neželezných kovů a vysokolegovaných ocelí. Nachází uplatnění hlavně v kusové a malosériové výrobě. Jejimi hlavními výhodami jsou především vysoká čistota, velmi dobré vlastnosti svaru, kvalitní povrch a možnost svařování ve všech polohách. Oproti ostatním metodám, zejména pak svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře MIG/MAG je ovšem TIG pomalejší a vyžaduje mnohem vyšší zručnost obsluhy. [1; 2; 3]

Tyto nedostatky lze částečně napravit mechanizovaným podáváním přídavného materiálu. Nejčastěji se používá tzv. podávání studeného drátu. To znamená, že se drát do tavné lázně přivádí při teplotě okolí. Rychlost svařování lze dále zvýšit ohřevem drátu na teplotu blízkou teplotě tavení (obr. 1). Rychlost svařování se strojním podáváním horkého drátu je oproti ručnímu až dvojnásobná. [1; 3; 4]

Většina aktuálně dostupných podávacích systémů se zaměřuje hlavně na zvýšení rychlosti svařování, ale parametry podávání se pevně nastaví před začátkem svařování. Z tohoto důvodu musí svářeč dodržet konstantní rychlost svařování, délku oblouku, sklon hořáku a svařovací proud. Systém, který dokáže podávání drátu změnit v těchto parametrech přizpůsobit, uvedla na trh společnost Fronius International GmbH v roce 2022, a to pod názvem TIG DynamicWire (obr. 2). [5]



Obr. 1 Svařování s podáváním horkého drátu [6].



Obr. 2 Fronius DynamicWire [7].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

V současné době se vývojem systémů pro podávání drátu při svařování TIG zabývá několik výrobců, ale až na výjimky pouze okrajově. Tyto komerční podavače sdílí některá omezení, mezi které patří například možnost pouze plynulého nebo přerušovaného podávání a pouze aplikace se studeným drátem. Tato zařízení také nedisponují možnostmi složitějšího řízení procesu. To znamená, že jsou závislé na zdroji proudu, který jim po sběrnici posílá informace o tom, co právě mají dělat. Díky této komunikaci podavače umožňují například upravovat rychlost posuvu v závislosti na svařovacím proudu nebo synchronizovat přerušované (oscilující) podávání se svářecím proudem během nízkofrekvenčního pulzního svařování. Kvůli nutnosti této komunikace je ale lze buď použít pouze s konkrétním svařovacím zdrojem, nebo jsou značně omezeny jejich schopnosti reagovat na změny svařovacích parametrů.

Výjimku zde tvoří například podavač studeného drátu EASY 400 PLUS od italské společnosti Trafimet Group Spa, který umožňuje uživateli nastavit 2 úrovně proudu a pomocí vlastního proudového měřiče zapínat a vypínat podávání nezávisle na svářecím zdroji. Nedokáže ovšem kompenzovat změny v délce oblouku a rychlosti svařování. Systém DynamicWire od společnosti Fronius International GmbH toto sice dokáže, neboť jeho podavač obsahuje obvod pro zjištění dotyku přídavného materiálu se svářencem, ale tyto údaje jsou dále zpracovávány řídicí jednotkou svařovacího zdroje, nikoliv v podavači, což znemožňuje jeho použití s jiným zdrojem. [5; 8]

Z těchto důvodů by bylo vhodné navrhnout podavač, který obsahuje obvody pro měření všech snadno měřitelných svařovacích parametrů, důležitých pro určení parametrů podávání a řídicí jednotku, která tyto údaje zpracovává nezávisle na zdroji svařovacího proudu. Tímto by celé řízení podávání drátu připadlo na podavač, který by tak bylo možné použít s libovolným svařovacím zdrojem a současně by mohl reagovat na změny parametrů během svařování.

2 PROBLEMATIKA PODÁVÁNÍ DRÁTU PŘI TIG SVAŘOVÁNÍ

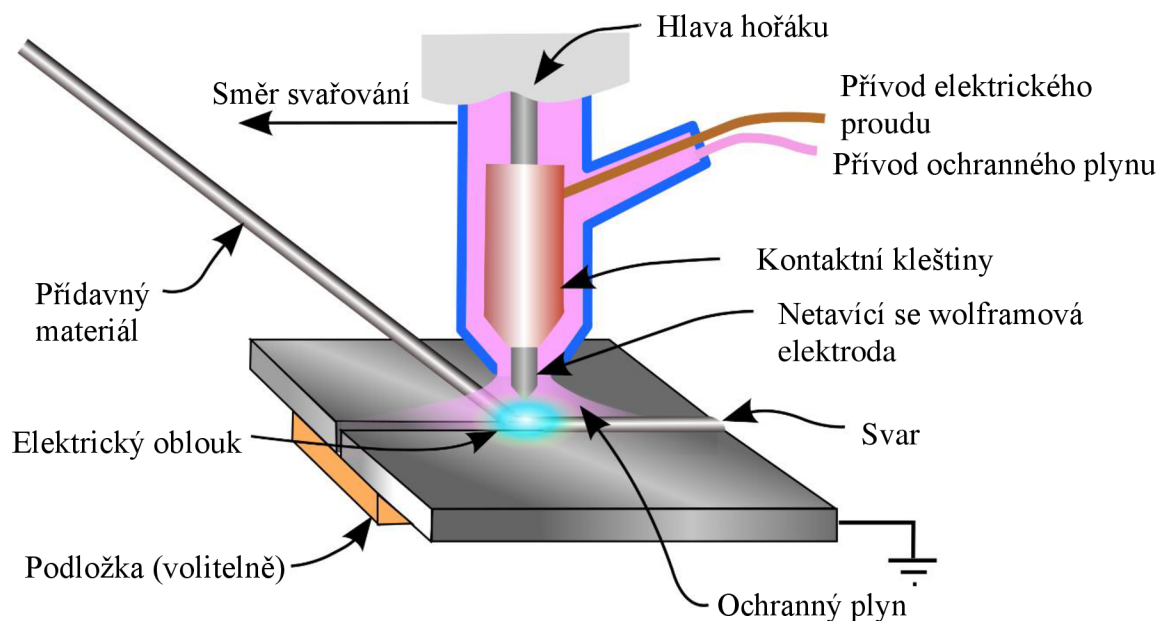
Metoda TIG se oproti ostatním metodám obloukového svařování liší mimo jiné tím, že přídavný materiál zde není do svarové lázně dodáván kontinuálně. Další velký rozdíl existuje ve způsobu zapalování oblouku, které je zde často zabezpečeno bezkontaktně vysokonapěťovou jiskrou. Tomuto všemu je potřeba přizpůsobit vlastnosti podavačů přídavného materiálu.

2.1 Svařovací metoda TIG

TIG (WIG) je metoda obloukového svařování, při které elektrický oblouk hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou a svařencem v ochranné atmosféře inertního plynu (Obr. 3). Tuto metodu lze využít jak pro ruční, tak strojní svařování. Jelikož se kladná elektroda ohřívá přibližně dvojnásobně oproti záporné, svařuje se většina materiálů stejnosměrným proudem elektrodou zapojenou na záporný pól zdroje (přímá polarita). [1; 2; 9; 10]

Velkým problémem je ovšem svařování materiálů tvořících oxidy, odolávající vysokým teplotám, jako jsou například hliník, hořčík a jejich slitiny. Oxid hlinitý, vznikající na povrchu materiálu taje až při teplotě 2050 °C. Tyto oxidy je při svařování nutné odstranit. První možné řešení je přepólování zdroje na tzv. nepřímou polaritu, kdy je hořák připojen na kladný pól zdroje, neboť na zápornou elektrodu (katodu) dopadají urychlené ionty ionizovaného ochranného plynu o poměrně velké hmotnosti, které vrstvu oxidů mechanicky odstraní. Na katodě také vzniká tzv. katodová skvrna. Jedná se o oblast, ve které dochází k emisi primárních elektronů. V katodové skvrně je vysoká proudová hustota, která podporuje odpařování oxidů z povrchu katody. Další výhodnou vlastností katodové skvrny je fakt, že vrstva oxidů má nižší emisní energii, a tak se katodová skvrna přednostně vyskytuje na nejvíce zoxidovaném místě. Nepřímá polarita se však z důvodu nadměrného tepelného zatížení elektrody a malé hloubce závaru používá pouze výjimečně, například pro svařování velmi tenkých plechů. Hliník lze svařovat i přímou polaritou, ale zde je nutné použití ochranného plynu s alespoň 75% hélia, které dosahuje mnohem vyšší teploty oblouku. Tohoto se využívá naopak pro svařování silnostěnných svařenců, kde velké množství dodávaného tepla zároveň pomáhá závaru. Nejčastěji se tak pro svařování slitin hliníku a hořčíku využívá střídavý proud, který kombinuje nižší tepelné namáhání hořáku a hluboký závar přímé polarity s čistícími schopnostmi polarity nepřímé. Poměr kladné a záporné půlvlny svařovacího proudu je u moderních svařovacích zdrojů nastavitelný, což umožňuje dosažení optimálního poměru závaru a čištění. Tato funkce se na ovládacích panelech nejčastěji nazývá AC Balance. Průběh střídavého proudu byl u zdrojů starší konstrukce sinusový, novější zdroje využívají obdélníkového průběhu. Tento průběh dodává do svaru více energie a hoří stabilněji, neboť napětí oblouku nesetrvává pod hodnotou ionizačního napětí dostatečně dlouho, aby došlo k deionizaci plynu. Některé invertorové zdroje umožňují volbu průběhu z několika možností. Nevýhodou obdélníkového průběhu je výrazně vyšší hladina hluku. [1; 2; 9; 10; 15]

Přídavný materiál se do svarové lázně přidává externě rukou nebo z dodatečného podavače. Na rozdíl od svařování MIG/MAG zde přídavný materiál neslouží jako elektroda a lze svařovat i bez něj. Metoda TIG je vhodná pro svařování ve všech polohách. [1; 10]



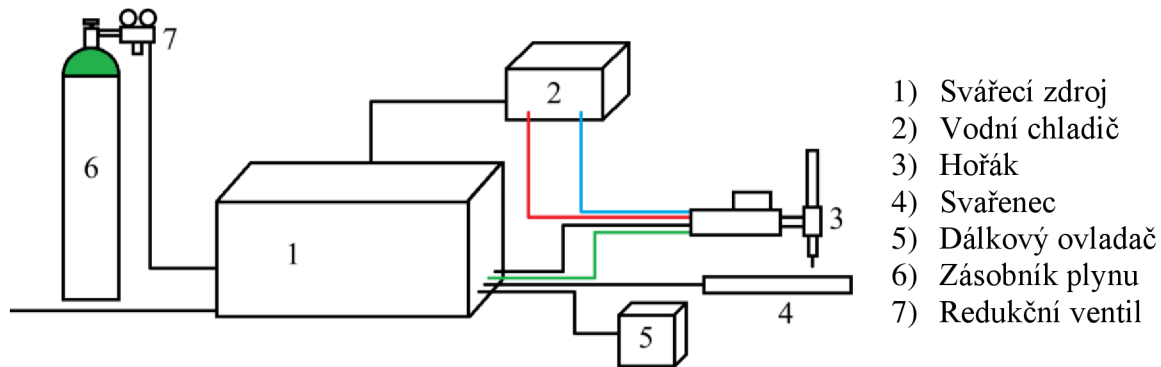
Obr. 3 Schéma svařovacího procesu TIG [11] (upraveno).

Svařovací proud může mít rovnoměrný nebo pulzující průběh. Pulzní režimy se zpravidla dělí na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční pulzy. Nízkofrekvenční pulzy jsou používány pro snížení množství tepla, vneseného do svaru. Pulzní proud způsobí natavení jen velmi malého části základního materiálu, po snížení proudu se tavná lázeň výrazně zmenší, nebo úplně ztuhne. Proud bývá zvýšen jen na krátký okamžik, během kterého svářeč obvykle přidá přídavný materiál do svarové lázně. U tohoto typu pulzace se na zdroji nejčastěji nastavuje hlavní (pulzní) proud, snížený (základní) proud v procentech z hlavního a doby, po které proud setrvává na daných hodnotách. Tyto doby se nastavují v desetínách až jednotkách sekund. [1; 9; 10; 12; 13]

Vysokofrekvenční pulzování způsobí v porovnání s konstatním svařovacím proudem ostřejší, koncentrovanější oblouk. Nastavují se zde hlavní a snížený proud, frekvence pulzace a střída. Frekvence se pohybuje v jednotkách až desítkách kHz. Nevýhodou tohoto procesu je však nadměrný hluk způsobený rychlými změnami intenzity proudu. Řešením tohoto problému je nastavení frekvence nad horní hranici slyšitelného pásma. Svařování s dvojitým pulzem znamená vysokofrekvenční pulzy superponované na nízkofrekvenční. [1; 12; 13; 14]

Existuje též několik procesů s proměnnou frekvencí pulzů, kdy tyto pulzy řízeně rozkmitají tavnou lázeň. Dosahuje se tak lepší smáčivosti povrchů a schopnosti přemostit větší mezery. Frekvence je zde zpravidla funkcí času a proudu, případně napětí (délky oblouku). Tyto procesy jsou využívány především pro bodování. [12; 15]

Při svařování střídavým proudem lze takto samočinně kromě frekvence řídit i střidu. Například proces D.O.C. od společnosti Migatronik A/S, který na základě změn napětí během každé kladné půlperrody ověřuje přítomnost oxidů na povrchu svařence a případně změni polaritu proudu. Tento proces dosahuje v porovnání se standardním střídavým procesem výrazně lepšího průvaru při stejné úrovni svařovacího proudu. AC TIG zdroje společnosti EWM GmbH jsou vybaveny funkcí, při které má pulzní proud střídavý průběh a snížený proud stejnosměrný. Tato funkce je vhodná například pro svařování hliníkových plechů s výrazně odlišnou tloušťkou. [1; 12; 16]



Obr. 4 Schéma systému pro ruční svařování TIG.

Svařovací systém se skládá ze zdroje svařovacího proudu, hořáku, přívodu ochranného plynu, například z tlakové láhve a dalších doplňkových zařízení. Sem lze zařadit chladičí zařízení pro vodou chlazené hořáky, externí podavače drátu, zdroje proudu pro ohřev drátu nebo dálkové ovladače. [1; 3; 9; 10]

Zdroj svařovacího proudu (obr. 4) je zdroj konstantního proudu, to znamená, že vykazuje strmou voltampérovou charakteristiku. Dříve byly nejpoužívanějšími zdroji svařovací usměrňovače, určené primárně pro ruční svařování obalenou elektrodou, vybavené dodatečnými zařízeními pro metodu TIG. Tato zařízení umožňují řízení přívodu ochranného plynu a vysokofrekvenční zapalování oblouku. Zdrojům s elektronickou regulací proudu dále regulují jeho náběh na nastavenou hodnotu po zapálení oblouku, doběh na nastavenou nižší hodnotu na konci procesu a vypnutí. Některé jednotky rovněž poskytovaly možnost pulzního svařování. Pro svařování střídavým proudem se používaly jednoduché transformátory bez výstupního usměrňovače nebo s řízeným usměrňovačem pro změnu střídy svařovacího proudu. Zde je potřeba vysokofrekvenčním zdrojem stabilizovat oblouk, tj. zabránit jeho zhasnutí a při průchodu velikosti proudu nulou. Zdroje na principu transformátorů, pracujících na síťové frekvenci jsou v současnosti nahrazeny zdroji spínanými neboli invertorovými. V těchto zdrojích je napájecí proud nejdříve usměrněn a následně přeměněn opět na střídavý, ale o vysoké frekvenci. Vysokofrekvenční transformátory mají v porovnání se síťovými mnohem nižší hmotnost. Vysokofrekvenční výstup transformátoru je usměrněn a vyhlazen výstupním filtrem. Pro svařování střídavým proudem je tento stejnosměrný výstup opět přeměněn na nízkofrekvenční střídavý pomocí výkonového střídače. Moderní invertorové zdroje, určené pro metodu TIG, již bývají z výroby vybaveny zařízeními pro vysokofrekvenční zapalování a stabilizaci oblouku, plynovými ventily i jednotkou pro řízení procesu. [1; 9; 10]

Chladičí jednotka pro kapalinou chlazené hořáky (obr. 4) se obvykle skládá z čerpadla, nádoby na chladičí kapalinu a tepelného výměníku. U běžných invertorových zdrojů bývají tyto jednotky dodávány jako volitelné příslušenství a při použití nižších svařovacích proudů nejsou nezbytné. Vysoce výkonné svařovací zdroje, nebo zdroje na bázi síťových transformátorů obvykle mají tyto jednotky vestavěné. Kapalinou chlazené hořáky poskytují oproti plynem chlazeným několikanásobně vyšší dovolené zatížení. [17]

Svařovací hořák pro metodu TIG slouží k přivádění svářecího proudu na elektrodu, její upnutí a zabezpečení kvalitní ochrany elektrody, tavné lázně a chladnoucího svaru ochranným plynem před účinky okolního vzduchu. Hořáky existují v provedení pro ruční i strojní svařování. Ruční hořáky mají rukojeť pro pohodlný úchop a rovněž mohou být vybaveny ovládacími prvky. Někteří svářeči preferují hořák s minimální rukojetí bez jakýchkoliv ovládacích prvků, k těmto hořákům je ale potřeba používat dálkový ovladač – zpravidla nožní pedál. Jiným uživatelům více vyhovují hořáky s ergonomicky tvarovanou rukojetí a vestavěným dálkovým ovládaním včetně grafického displeje pro zobrazení svařovacích parametrů. Hořáky pro strojní aplikace

naopak místo rukojeti mají jednoduché zakončení pro snadné upnutí do unášecího držáku. Pro nižší proudy dostačují hořáky chlazené plynem, pro vyšší proudy nebo dlouhodobé zatížení je nutné hořáky chladit kapalinou. Toto rovněž snižuje spotřebu ochranného plynu, který již plní pouze funkci ochranné atmosféry. Standardní hořáky se skládají z několika součástí, viz obr. 5 [1; 9; 10; 18]:

- Tělo (obr. 5, pozice 4), do kterého jsou zašroubovány ostatní díly. Tělo je obvykle vyrobeno z mosazi a je izolováno proti teplotě a vysokému napětí. Mezi tělo a hubici je umístěn teflonový izolační kroužek, zabráňující nadměrnému přenosu tepla z hubice do těla.
- Domeček kleštiny (obr. 5, pozice 2b), proti kterému se svírá kleština. Tento díl rovněž slouží k rozptýlení ochranného plynu do hubice. Pro rovnoměrnější proudění, které je nutné v případě velkého vyložení elektrody, kdy mohou turbulence nasát do proudu okolní vzduch, může být použit domeček kleštiny s tzv. plynovou čočkou (obr. 5, pozice 2a). Jedná se o jemnou kovovou síťku, která usměrňuje proudění plynu.
- Kleština (obr. 5, pozice 5), která drží elektrodu pevně v hořáku. Je to velmi malá, ale značně tepelně namáhaná součást a vyžaduje tak velmi častou výměnu. Někteří výrobci vyrábějí speciálně tvarované kleštiny, které se v domečku zaklíní a vytvoří tak lepší přenos proudu na elektrodu. Toto rovněž výrazně prodlužuje její životnost.
- Adaptér (obr. 5, pozice 3) se používá v případě osazení domečku kleštiny s plynovou čočkou, kdy hubice nedoléhá přímo na tělo hořáku.
- Wolframové elektrody (obr. 5, pozice 7), tvořící jeden pól svařovacího obvodu. Tyto elektrody se vyrábí z wolframu s různými příměsemi pro různé materiály a různé hodnoty proudu.
- Zadní krytka (obr. 5, pozice 6a, 6b), jejímž utážením dochází ke stlačení kleštiny do kuželové plochy uvnitř domečku a tím jejímu sevření. Krytka rovněž obsahuje těsnící kroužek.
- Hubice (obr. 5, pozice 1a, 1b), přivádějící ochranný plyn do místa svařování. Hubice jsou vyráběny převážně z keramiky, ale existují i speciální provedení ze žáruvzdorného skla, které svářeči umožní lepší pohled do svarové lázně. Některé vodou chlazené hořáky mohou mít hubice měděné.



Obr. 5 Díly ručního svařovacího hořáku TIG.

Dálkové ovladače sahají od těch jednoduchých, umožňujících pouze nastavení proudu až po kompletní ovládací panely, které v některých případech úplně nahrazují ovládací panel na zdroji. Zatímco jednodušší ovladače většinou se zdroji komunikují pomocí analogových signálů, složitější panely obvykle využívají vysokorychlostních digitálních sběrnic. Kromě rukou řízených ovladačů také existují ovládací pedály, díky kterým uživateli odpadá nutnost používání tlačítek hořáku a výrazně tak usnadňují manipulaci. [9; 12]

Ochranné plyny se obvykle přechovávají pod vysokým tlakem v tlakových lahvích (obr. 4, pozice 6), lahvových svazcích nebo zásobnících. Tlak se snižuje v místě odběru pomocí redukčních ventilů (obr. 4, pozice 7). Tyto bývají na výstupu vybaveny buď manometrem (obr. 6), který určuje průtok ochranného plynu na základě tlaku před zúžením místem, nebo jedním či více plovákovými průtokoměry (obr. 7), měřící průtok plynu přímo. Pro většinu materiálů lze použít jako ochranný plyn argon 4.6, tj. 99,996 %. Pro svařování vysoce tepelně vodivých materiálů, nebo materiálů příliš silných pro dostupný zdroj proudu se jako ochranný plyn používá čisté hélium nebo jeho směsi. Pro svařování materiálů, které jsou velmi náchylné na okolní atmosféru, jako například slitiny titanu, se používá argon o čistotě až 5.0, tj. 99,999 %. Při těchto podmínkách je občas nutné použít boční kryt, zajišťující dodatečnou ochranu chladnoucího svaru, nebo umístění celého svařence do nádoby, naplněné ochranným plynem. [1; 9; 10]



Obr. 6 Redukční ventil s manometrem [19] Ob. 7 Redukční ventil s průtokoměrem [20]

Svařovací elektrody pro TIG svařování se vyrábějí ze spékaného wolframu, a to buď z čistého, nebo s příměsí oxidů některých prvků. Tyto oxidy snižují ohřev elektrody a zvyšují emisi elektronů. Toto má za následek delší životnost, spolehlivější zapalování a lepší stabilita oblouku. Elektrody se označují podle složení a procentuálního obsahu dané příměsi, viz tabulka 1. Na jednom konci je elektroda podle složení označena barevným proužkem, širokým minimálně 3 mm. Čisté wolframové elektrody se používají pro svařování slitin hliníku a hořčíku střídavým proudem. Elektrody legované cerem nebo lanthanem jsou univerzální, takže je lze použít pro svařování střídavým i stejnosměrným proudem. Zirkoniem legované elektrody jsou vhodné jako náhrada čistých při svařování střídavým proudem, v případech, kdy je nutný vysoce stabilní oblouk a minimum vměstků ve svarovém kovu. Elektrody s obsahem thoria mají velmi dlouhou životnost, proudovou zatížitelnost a zapalovací vlastnosti při svařování stejnosměrným proudem. Jelikož je thorium radioaktivní prvek, je však nutné při jejich použití, obzvláště při broušení dbát zvýšené opatrnosti. Postupně se právě kvůli jejich radioaktivitě upouští a přechází se na elektrody legované cerem, lanthanem, nebo prvky vzácných zemin (elektrody Lymox). Elektrody je před svařováním potřeba nabrousit do špičky s vrcholovým úhlem cca 30° až 120° podle proudového zatížení. Elektrody je potřeba brousit v podélném směru, aby oblouk hořel až se samotné špičky elektrody. Mohou se brousit za sucha

či mokra nejlépe kotoučem z karbidu křemíku nebo diamantu. Pro vyšší proudová zatížení nebo pro svařování střídavým proudem je vhodné špičku lehce otupit. Při svařování střídavým proudem se po nabroušení špička elektrody vlivem proudového zatížení částečně nataví a zakulatí do tzv. kaloty. [1; 2; 9; 10]

Tab. 1 Složení a značení wolframových elektrod [1]

Označení	Hmotnostní procento oxidů [%]		Barevné označení
WP	ThO ₂	Bez oxidů	Zelená
WT 10	ThO ₂	0,9 – 1,2	Žlutá
WT 20	ThO ₂	1,8 – 2,2	Červená
WT 30	ThO ₂	2,8 – 3,2	Fialová
WT40	ThO ₂	3,8 – 4,2	Oranžová
WZ 3	ZrO ₂	0,15 – 0,4	Světle hnědá
WZ 8	ZrO ₂	0,7 – 0,9	Bílá
WL10	LaO ₂	0,9 – 1,2	Černá
WL 15	LaO ₂	1,4 – 1,6	Zlatá
WL 20	LaO ₂	1,8 – 2,2	Modrá
WC 20	CeO ₂	1,8 – 2,2	Šedá
Lymox	La ₂ O ₃ + Y ₂ O ₃ + CeO ₂	1,8 – 2,2	Růžová

2.2 Podavače drátu pro svařování

Podavače drátu jsou nedílnou součástí zařízení pro svařování MIG/MAG a strojního svařování TIG, kde zabezpečují přesné stabilní množství dodávaného přídavného materiálu, nicméně u ručního TIG svařování se podávání přídavného materiálu stále převážně provádí ručně. Také přídavné materiály pro metodu TIG se dodávají jako 1 000 mm dlouhé rovné dráty, takže pro strojní podávání jsou zcela nevhodné. Proto se pro strojní TIG svařování používají dráty, určené pro metodu MIG/MAG. Svařovací drát může být navinut na cívce nebo uložen ve velkokapacitním sudu. Svařovací systémy pro ruční svařování obsahují prostor pro cívku s drátem přímo v podavači. [21; 22]

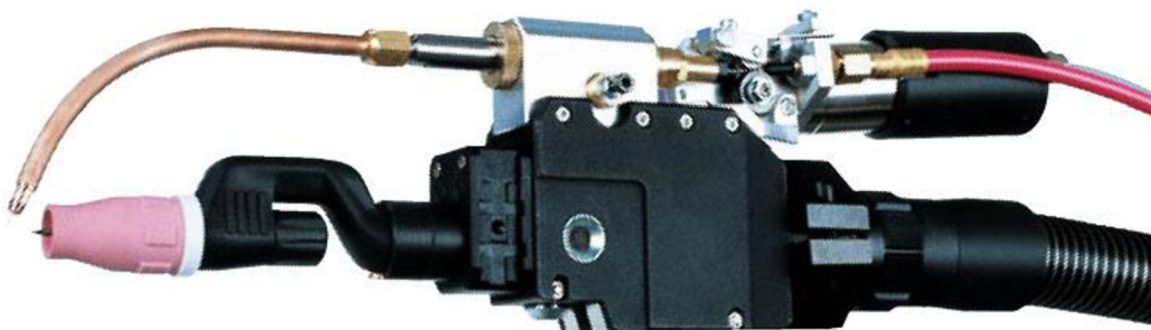
Strojní podávání drátu se nejčastěji provádí tlačně, to znamená, že drát je podavačem odvíjen z cívky a následně protlačován vodícím bowdenem do hořáku. Tlačné podávání lze ovšem uspokojivě realizovat pouze na vzdálenost do cca 5 m. Pro dosažení větší vzdálenosti je potřeba použít tzv. push-pull (obr. 6) podávání, kdy zařadíme mezipodavač do vedení drátu. Tento podavač může být samostatnou jednotkou, nebo vestavěný v hořáku. Zde hovoříme o tzv. push-pull hořáku. Pro ruční MIG/MAG svařování také existuje modifikace push-pull hořáku, která obsahuje též unašeč miniaturních cívek s drátem. Tento typ hořáku se nazývá spool-gun (obr. 7) a používá se především pro svařování hliníku, který se obecně podává velmi komplikovaně. S push-pull systémem s jedním mezipodavačem lze podávat drát na vzdálenost až 30 m od zásobníku. Mezipodavače lze pro dosažení ještě delších vzdáleností řetězit za sebe. Zde se ovšem začne projevovat další problém, a tím je přesné sladění rychlostí jednotlivých podavačů. Push-pull hořáky existují i pro strojní TIG svařování, viz obr. 9. [21; 22; 23]



Obr. 8 Hořák push-pull [24].



Obr. 9 Hořák spool gun [25].



Obr. 10 Push-pull hořák pro strojní TIG svařování [26].

Základním dílem podavače drátu je vlastní posuvový mechanismus. Ten se zpravidla skládá z tělesa a dvojic podávacích kladek. Každý pár podávacích kladek se obsahuje kladku pevnou a kladku přitlačnou. Pevné kladky, jak již vyplývá z názvu, mají osy pevně spojeny s deskou posuvu. Kladky přitlačné jsou upevněny do výkyvných přitlačných ramen. Většina podavačů, ať už jde o levnější podavače, nebo podavače na krátké vzdálenosti si často vystačí s jedním párem kladek, nicméně průmyslové podavače bývají vybaveny dvěma páry kladek. Více než dva páry kladek se používají pouze výjimečně, například v robotizovaných aplikacích vyžadujících nejvyšší možnou přesnost podávání. Push-pull hořáky používají z důvodu nízké hmotnosti a kompaktní zástavby dvoukladkové podavače. [1; 21; 22]

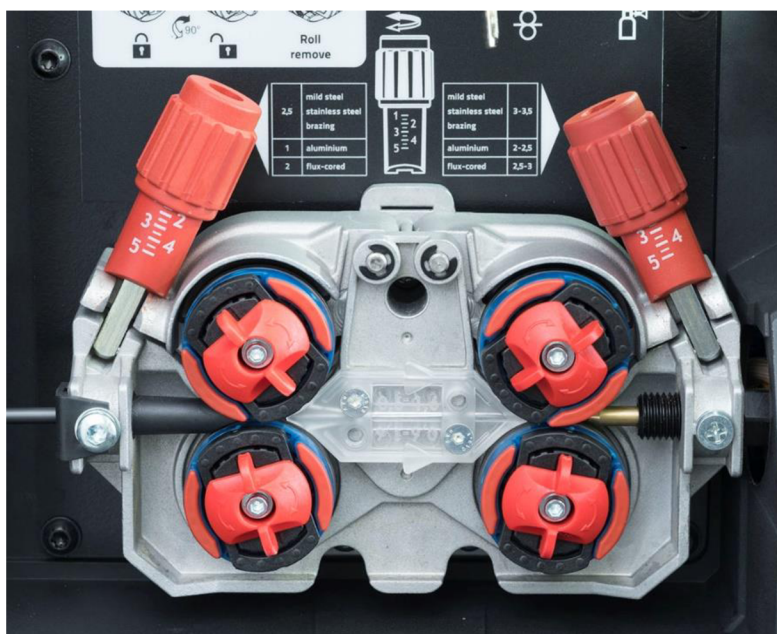
Vícekladkové podavače mají oproti těm dvoukladkovým důležitou výhodu, a to větší adhezi. Podavač není tolik náchylný na stav vedení drátu a je zde výrazně nižší riziko prokluzu drátu. Lze bezpečně podávat drát vyššími rychlostmi a na větší vzdálenosti. Také dosahuje stejných podávacích sil při mnohem nižším přitlaku, takže je vhodný pro svařování měkkými dráty, jako jsou například hliníkové, které by se při větším přitlaku deformovaly. [21]

Pevné kladky jsou v podavačích vždy poháněny, a to buď přímo, jak je obvyklé na dvoukladkových podavačích, nebo přes ozubený převod. Některé čtyřkladkové podavače mohou mít jednu pevnou kladku poháněnou přímo a druhou přes ozubený převod, ale nejčastější řešení je poháněné ozubené kolo, které přímo zabírá s ozubenými koly, na kterých jsou osazeny kladky. Toto kolo má ovšem oproti podávacím kladkám opačný smysl otáčení. Většina moderních podavačů má přes ozubené převody poháněné i kladky přitlačné (obr. 9). [21]

Pevné poháněné kladky jsou vždy výměnné. Mají po obvodu drážku pro vedení drátu jsou určeny vždy pro konkrétní druh a průměr drátu. Větší kladky mohou mít podávací drážky dvě

pro dva různé průměry drátu a lze je pak do podavače nasadit jedním nebo druhým směrem. Kladky bývají na čele označeny podle tvaru drážky a průměru drátu, pro jehož podávání jsou určeny. Běžně jsou dostupné tři tvary drážky, a to od průměru 0,6 mm do 1,6 mm. Přitlačné kladky mohou či nemusí být poháněny. Jejich případný pohon je odvozen přímo od pohonu pevných kladek. Přitlačné kladky bývají často nevyměnitelné a hladké, to znamená, že nemají žádnou drážku a lze je tak použít pro podávání všech druhů drátů. Některé podavače mají místo přitlačných kladek pouze kuličková ložiska a drát je přitlačován přímo vnějšími kroužky těchto ložisek. [1; 19]

Pevně poháněné kladky jsou vždy výměnné. Mají po obvodu drážku pro vedení drátu jsou určeny vždy pro konkrétní druh a průměr drátu. Větší kladky mohou mít podávací drážky dvě pro dva různé průměry drátu a lze je pak do podavače nasadit jedním nebo druhým směrem. Kladky bývají na čele označeny podle tvaru drážky a průměru drátu, pro jehož podávání jsou určeny. Běžně jsou dostupné tři tvary drážky, a to od průměru 0,6 mm do 1,6 mm. Přitlačné kladky mohou či nemusí být poháněny. Jejich případný pohon je odvozen přímo od pohonu pevných kladek. Přitlačné kladky bývají často nevyměnitelné a hladké, to znamená, že nemají žádnou drážku a lze je tak použít pro podávání všech druhů drátů. Některé podavače mají místo přitlačných kladek pouze kuličková ložiska a drát je přitlačován přímo vnějšími kroužky těchto ložisek. [1; 21]



Obr. 11 Čtyřkladkový posuvový mechanismus s poháněným přitlakem [27].

Pro plné dráty ze všech druhů ocelí, včetně korozivzdorných, jsou kladky opatřeny drážkou ve tvaru lichoběžníku nebo trojúhelníku (obr. 10, vlevo). Stěny drážky jsou hladké a drážky jsou vždy na kladkách pevných poháněných. V případě, že jsou poháněny i přitlačné kladky, mohou mít také drážky. V tomto případě jsou také vyměnitelné. [1; 21]

Měkké dráty vyžadují kladky s půlkulatou drážkou (obr. 10, uprostřed). Tato drážka má stejný tvar jako drát a při přitlaku tak nedochází k takovým deformacím. Optimální řešení pro omezení deformace drátu je použití přitlačných kladek se stejnou půlkulatou drážkou. [21]

Plněné trubičkové dráty bývají rovněž podávány kladkami s půlkulatými drážkami. Tyto drážky jsou ovšem pro zlepšení adheze ještě vroubkované (obr. 10, vpravo). Opět je drážka vždy na pevných a může být i na přitlačných kladkách. Tyto kladky se nesmí používat pro plné ocelové dráty. Pevné dráty jsou totiž pokryty ochrannou vrstvou mědi, která by se průchodem těmito kladkami poškodila a ucplala by vodičí bowden v hořáku. [21]



Obr. 12 Podávací kladky [26].

Tělesa posuvů a přítlačná ramena se v dnešní době vyrábějí především z hliníkových odlitků. V některých podavačích, nejčastěji těch vestavěných ve zdrojích nejnižší cenové kategorie, mohou být tělesa posuvů a přítlačná ramena plastová. Výjimku zde tvoří například podavače společnosti Fronius International GmbH, používající plastové podavače i v nejvyšších řadách podávacích systémů. [21]

Většina podavačů kromě vlastního posuvového mechanismu nesou i cívku s drátem. Tato cívka musí být uložena volně na držáku, aby bylo zajištěno plynulé podávání. Vzhledem ke značné setrvačnosti plných cívek při vyšších rychlostech podávání musí být cívka zastavena, jakmile dojde k zastavení podavače. K tomuto účelu slouží brzda, která je nedílnou součástí držáku cívky. Brzda se seřizuje šroubem, umístěným v držáku cívky. Pokud je cívka brzděna příliš, mohou nastat problémy s podáváním, naopak pokud není brzděna dostatečně, těsný návín na cívce se povolí. Při opětovném spuštění podavače se nejdříve návín opět utáhne a až poté se cívka uvede do pohybu. Náhlé roztočení těžké cívky způsobí propad v podávací rychlosti. [21]

Podávání drátu při svařování MIG/MAG obvykle probíhá plynule dvěma rychlostmi. Při zahájení svařování se drát vysunuje z hořáku přibližovací rychlostí. Tato rychlost bývá nastavitelná potenciometrem uvnitř podavače. Jakmile dojde ke kontaktu drátu se svařencem, nárůst svařovacího proudu je zaznamenán a podavač přechází na hlavní podávací rychlost. Tato je nastavitelná na čelním panelu podavače. Při ukončení svařovacího procesu zastaví podavač okamžik před vypnutím svařovacího proudu. Takto se zabrání přivaření konce drátu ke svařenci. Tato prodleva se nazývá čas dohoření a bývá společně s přibližovací rychlostí nastavitelná uvnitř podavače. V současnosti existují procesy, které velmi rychle pomocí speciálního push-pull hořáku využívají pohybu drátu ke snížení množství vneseného tepla do svaru. Tyto podavače jsou kvůli potřebě velkého zrychlení, reverzace a přesného chodu vybaveny krokovými motory nebo servomotory. Tyto motory jsou spojeny přímo s kladkami vestavěného podavače. Jeden z těchto procesů je proces CMT od společnosti Fronius (obr. 9). Zde musí být upraveno vedení drátu, neboť při dopředném chodu tlačného podavače a zpětném chodu push-pull podavače by docházelo k pěchování drátu ve vodícím bowdenu. Ten tak musí být v určitém místě přerušeno, aby bylo umožněno chvilkové prodloužení vodící cesty. Tlačný podavač zde podává kontinuálně rychlostí rovnou průměrné rychlosti push-pull podavače. [29; 30]



Obr. 13 Systém Fronius CMT [31].

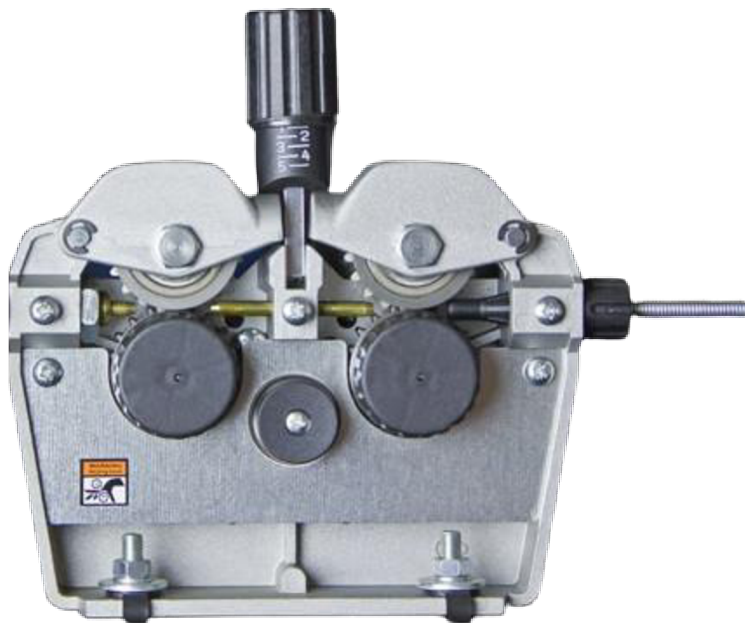
Při svařování metodou TIG s mechanizovaným podáváním drátu se spouští podavač drátu několik sekund po zapálení oblouku, aby stihlo dojít k natavení základního materiálu a nevznikl tak studený spoj. Drát je směřován průvlekem na kraj svarové lázně, stejně jako při ručním podávání a je do tavné lázně dodáván plynule nebo přerušovaně. Může být i zpětným pohybem oddálen od tavné lázně, při tom ale musí zůstat v ochranné atmosféře. Tento zpětný pohyb napodobuje podávání drátu rukou a zlepšuje smáčivost povrchů. Při ukončení procesu je drát odtažen mimo svar. Vytažení drátu ven z tavné lázně musí proběhnout stejně jako u metody MIG/MAG ještě před zhasnutím oblouku, aby nezůstal přivařen ke svařenci. Jelikož se nejedná o push-pull systémy, dopředný i zpětný pohyb je zde realizován tlačným podavačem. Při svařování horkým drátem může být zdroj proudu pro ohřev vestaven přímo v podavači, jako je tomu například u systému tigSpeed od společnosti EWM. Hodnoty ohřívajícího proudu se pohybují v rozmezí od 40 A do 180 A. Tento proud je do drátu přiváděn kontaktním průvlekem v hořáku. Drát je ohříván pouze na krátkém úseku mezi průvlekem a tavnou lázní. Zvláštním způsobem podávání drátu je posuv s oscilací. V podavačích, určených pro podávání s oscilací drátu je posuvový mechanismus uložen na lineárním vedení, umožňujícím jeho plynulý pohyb ve směru a proti směru posuvu drátu. Během tohoto procesu je celý posuvový mechanismus lineárně rozkmitán na vysokou frekvenci, standardně od 1 do 16 Hz. Podávací kladky se přitom otáčejí konstantní rychlostí. Amplituda oscilací se pohybuje mezi 0,5 mm a 10 mm. Posuvový mechanismus lze uvést do oscilujícího pohybu několika způsoby. Například systém tigSpeed od společnosti EWM využívá kulisového mechanismu. Tento mechanismus dosahuje přesného sinusového pohybu, kterým lze docílit nejnižších vibrací celého systému. Oproti tomu podavače společnosti TIP TIG rozkmitávají posuvový mechanismus mechanicky pomocí klikového hřídele, hnaného druhým elektromotorem. Tento systém nemá optimální profil akcelerace, ale zato je velmi jednoduchý. Oproti podavačům, určeným pro metodu MIG/MAG potřebují podavače TIG dodatečnou ochranu proti vysokému napětí z vysokofrekvenční jednotky pro zapalování a stabilizaci oblouku. [4; 32; 33; 34; 35]

3 NÁVRH PODAVAČE DRÁTU PRO TIG METODU

Podavač drátu pro svařování se skládá ze dvou základních částí: Pohonné jednotky a řídicí elektroniky. Cílem pohonné jednotky je zabezpečit vlastní podávání drátu řídicí jednotka se stará o ovládání a komunikaci s uživatelem a svářecím zdrojem. U MIG/MAG podavačů je zásadní plynulá posuvu, oproti tomu TIG podavače musí být schopny dodat do tavné lázně přesně dané množství přidavného materiálu.

3.1 Návrh pohonné jednotky podavače

Vzhledem ke standardním délkám kabelových svazků TIG hořáků, které činí 4 nebo 8 metrů, je vhodné využití čtyřkladkového posuvového mechanismu. Jelikož metodou TIG se často svařují hliníkové slitiny a další měkké materiály, je zde výhodné použití podávacích kladek o největším možném průměru. Větší kladky mají větší styčnou plochu s drátem, a tak zde dochází k menší deformaci drátu i při větších silách přtlaku. Z těchto důvodů byl zvolen posuvový mechanismus CWF 510 dodávaný společností Kühnreiter, s.r.o. Jedná se o čtyřkladkový posuvový mechanismus s poháněným přtlakem a hladkými přtláčnými kladkami. Průměr kladek zde činí 40 mm. Těleso podavače i přtláčná ramena jsou hliníkové odlitky. Šroub pro nastavení síly přtlaku je společný pro obě přtláčná ramena. [36]



Obr. 14 Posuvový mechanismus CWF 510 [36] (upraveno).

Pro pohon MIG/MAG podavačů jsou nejčastěji používány stejnosměrné elektromotory se šnekovou převodovkou. Tento typ pohonu poskytuje vysoký točivý moment při nízkých otáčkách a poměrně snadnou regulaci rychlosti, nicméně pro dosažení přesného podávání je nutné vybavit motor enkodérem, tedy snímačem aktuálního natočení hřídele. Tento systém poté funguje jako servomechanismus. Točivý moment motoru je nepřímo úměrný jeho otáčkám. Stejnosměrný motor se šnekovou převodovkou a zpětnovazebnou regulací je použit i v několika TIG podavačích. Jako příklady zde lze uvést systém DynamicWire společnosti Fronius, EASY 400 PLUS od společnosti Trafimet, nebo systém TIPTIG, který jej současně kombinuje s oscilujícím posuvovým mechanismem. Stejnosměrný motoru je použit například v podavačích tigSpeed od společnosti EWM s planetovou převodovkou. [5; 8; 14; 30; 34]

Další možností pohonu podavače je motor na střídavý proud. Může se jednat o bezkartáčové stejnosměrné (BLDC) motory nebo střídavé (AC) servomotory. BLDC motor by v tomto

případě opět musel být vybaven enkodérem a provozován jako servomechanismus. Výhodou těchto motorů je konstantní průběh točivého momentu až do jmenovitých otáček, které se obvykle pohybují v řádu tisíců otáček za minutu. Tento jmenovitý točivý moment je ovšem příliš nízký, a tak tyto motory také potřebují převodovku pro jeho zvýšení. Mezi hlavní nevýhody těchto pohonů patří složitá regulace otáček a vysoké pořizovací náklady.

Poslední praktickou možností pohonu podavače je použití krokového motoru. U tohoto typu motorů je jejich přesnost přímo dána jejich konstrukcí, a tak zde odpadá nutnost zpětnovazební regulace pomocí enkodéru. Tento nicméně stále může být osazen pro detekci přetížení motoru, neboť řídicí jednotka jinak nemá žádné informace o tom, zda se motor otáčí. Točivý moment krokových motorů rovněž klesá s rostoucími otáčkami, ale tento moment je výrazně vyšší než AC servomotorů, a tak není nutné použití tak vysokého převodového stupně, nebo v případě použití dostatečně výkonného krokového motoru odpadne nutnost použití převodovky úplně. Krokové motory bez převodovek jsou používány například v push-pull hořácích pro proces MIG/MAG CMT od společnosti Fronius, kde mohou dosahovat frekvence oscilace až 170 Hz. [37]

Pro pohon TIG podavače byl na základně těchto charakteristik zvolen krokový motor. Maximální rychlost posuvu drátu TIG podavačů se pohybuje v rozsahu od 8 m.min⁻¹, jak je tomu u podavače EASY 400 PLUS do 15 m.min⁻¹ podavače tigSpeed. Jelikož rychlost otáčení kladek, nepřesahuje 120 min⁻¹, ale točivý moment některých krokových motorů začíná výrazněji klesat až od vyšších hodnot, je vhodné použít motor menšího výkonu v kombinaci s přesnou převodovkou. [4; 8]

Rychlost otáčení motoru a kladek lze z rychlosti vypočítat ze vztahu:

$$n_m = in_k = i \frac{1000v}{\pi d_k} \quad (3.1)$$

kde: n_m – otáčky motoru [min⁻¹],

n_k – otáčky kladek [min⁻¹],

i – převodový stupeň převodovky [-], pro přímý náhon bez převodovky je $i = 1$,

v – rychlost podávání drátu [m.min⁻¹],

d_k – průměr kladky [mm].

Z charakteristik stejnosměrného motoru pro pohon MIG/MAG podavačů vyplývá maximální točivý moment, pohybující se okolo 15 Nm, viz příloha 1. Tato hodnota je dosažitelná například použitím největšího standardního krokového motoru s 57 mm přírubou NEMA 23 s maximálním momentem 3 Nm a převodovkou s převodovým stupněm 5. Motor byl zvolen typ D57CM31 od společnosti Leadshine Technology Co., Ltd., poháněn driverem EM870S stejného výrobce a napájen zdrojem RPS488 s napětím 48 V. Tento motor se vymyká standardu svojí šířkou, která činí 60 mm místo běžných 57 mm. Rovněž je oproti standardnímu 3 Nm motoru s přírubou NEMA 23 výrazně kratší, což usnadňuje zástavbu. Tento motor dosahuje točivého momentu 3 Nm až do 200 min⁻¹, přičemž při 500 min⁻¹ odpovídajícím 100 min⁻¹ na kladkách a rychlosti posuvu 12,57 m.min⁻¹ dosahuje 2,3 Nm. Převodovka byla zvolena EG23-G5-D8 výrobce OMC Corporation Limited s účinností 94 %. Točivý moment na kladkách odpovídá dle vztahu 10,81 Nm, stejně jako u stejnosměrného motoru dle přílohy 1: [38; 39; 40]

$$M_k = i\eta M_m \quad (3.2)$$

M_k – točivý moment na kladkách [Nm],

i – převodový stupeň převodovky [-], pro přímý náhon bez převodovky je $i = 1$

η – účinnost převodovky [-],

M_m – točivý moment motoru [Nm].

Tato převodovka má převodový poměr 5 a vůli 15 úhlových minut. Tato vůle se projeví lineární vůlí v posuvu drátu x o velikosti 0,087 mm podle vztahu [39]:

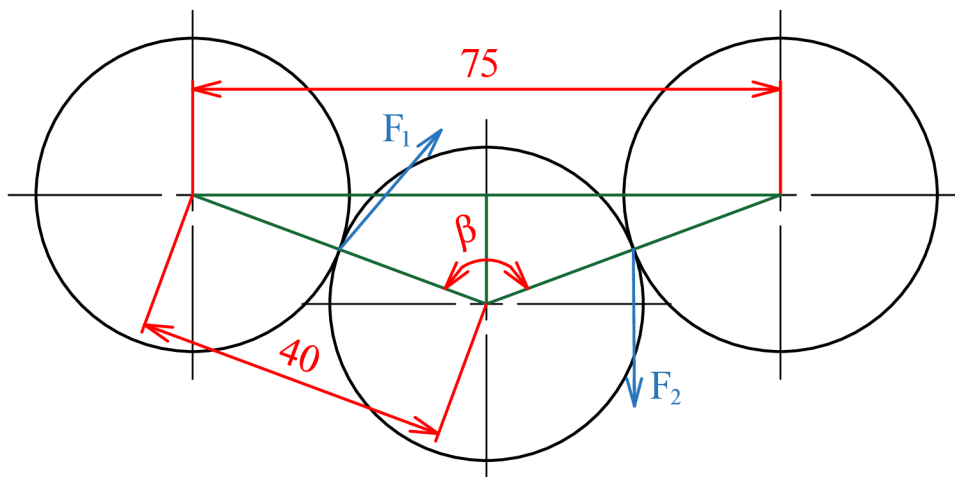
$$x = \frac{1}{2} d_k \delta \quad (3.3)$$

kde: d_k – průměr kladky [mm],
 δ – vůle v převodovce [rad].

Převodovka EG23-G5-D8 umožňuje maximální radiální zatížení výstupního hřídele 400 N. Nejvyšší radiální zatížení na hřídel působí v okamžiku, kdy je kvůli vůlím v ozubení v záběru pouze jeden pár kladek. Toto zatížení činí dle geometrie posuvového mechanismu změřené posuvným měřítkem, zobrazené na obrázku 15 ze vztahu téměř 800 N [39]:

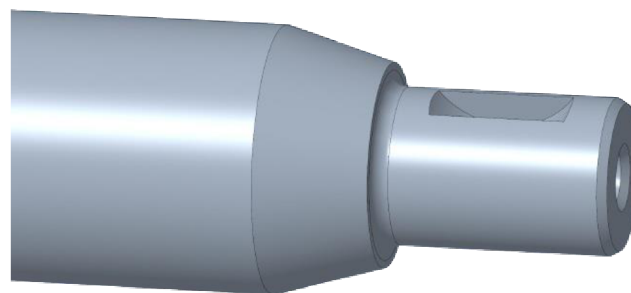
$$F_R = F_1 = F_2 = \frac{2000M_k}{d \cos \alpha_n} = \frac{2000 \cdot 15}{40 \cdot \cos 20^\circ} = 798,13 \text{ N} \quad (3.4)$$

kde: d – průměr roztečné kružnice hnacího kola [mm],
 M_k – točivá moment na hřídeli, stejný jako na kladce [Nm],
 α_n – úhel záběru ozubení [°], pro standardní čelní ozubení $\alpha_n = 20^\circ$.



Obr. 15 Silové schéma posuvového mechanismu.

Výstupní hřídel zvolené převodovky má průměr 14 mm, zatímco otvor v hnacím kole posuvového mechanismu má průměr 10 mm, takže je nutné použití adaptéru. Uložení tohoto hřídelového adaptéru rovněž přenese radiální síly od hnacího kola a odlehčí výstupní hřídel převodovky. Tento hřídelový adaptér bude uložen do tělesa adaptéru, který je osazen příslušnými přírubami, umožňující jednoduchou montáž převodovky i posuvového mechanismu. Pro možnost vymezení vůle v ozubení posuvového mechanismu, která je vzhledem k technologii výroby kol spékáním značná, jsou díry pro montáž tělesa adaptéru k posuvovému mechanismu rozšířeny. [39]



Obr. 16 Konec hřídelového adaptéru.

Hřídel je vyroben z oceli. Hřídelový konec pro kolo posuvu je o průměru 10 mm s úsečovým perem pro snížení koncentrace napětí na krajích drážky (obr. 16). Běžné motory se šnekovou převodovkou bývají osazeny kluznými ložisky nebo kuličkovými ložisky s vnitřním průměrem 10 mm, jako například 6000-2RS. Vzhledem k odlišné zátěži při přerušovaném podávání je hřídelový adaptér směrem k motoru rozšířen na průměr 17 mm, kde je osazeno jednořadé kuličkové ložisko 6003-2RSH se statickou únosností 3,25 kN. Druhá strana hřídele je obrobena na průměr 25 mm. Z důvodu omezených zástavbových rozměrů je na straně převodovky hřídel uložen v jednořadém kuličkovém ložisku 61805-2RS1. Průměr vnějšího kroužku ložiska zde nesmí přesáhnout 40 mm, aby bylo možné jej namontovat přes středící osazení převodovky. Jako nebezpečné místo byl vyhodnoceno osazení z nejmenšího průměru. Bezpečnost hřídele k mezímu stavu únavové pevnosti a mechanické vlastnosti hřídele je možné určit podle vztahů: [40; 41; 42]

$$k = \frac{\sigma'_C}{\sigma_R} \quad (3.5)$$

kde: σ'_C – korigovaná mez únavy [MPa],
 σ_R – redukované napětí v hřídeli [Nm].

Mez únavy je určena na vzorku za laboratorních podmínek, a tak je potřeba ji přepočítat pro konkrétní podmínky dané situace. Tuto korekci provádíme pomocí Marinovy rovnice: [41]

$$\sigma'_C = k_a k_b k_c k_d k_e k_f \sigma_{Co} \quad (3.6)$$

kde: k_a – součinitel povrchu [-], pro třískově obrobený povrch: (3.7)

$$k_a = 4,51 \cdot R_m^{-0,265},$$

R_m – mez pevnosti materiálu [MPa],

k_b – součinitel velikosti [-], pro $2,79 \text{ mm} \leq d \leq 51 \text{ mm}$:

$$k_b = 1,24 \cdot d^{-0,107}, \quad (3.8)$$

d – průměr hřídele [mm],

k_c – součinitel zatížení [-], pro kombinovaný krut a ohyb je roven 1,

k_d – součinitel teploty [-], pro 20 °C je roven 1,

k_e – součinitel spolehlivosti [-], pro spolehlivost 99 % je roven 0,814,

k_f – součinitel dalších vlivů [-], nezohledňujeme-li, je roven 1,

σ_{Co} – mez únavy vzorku [MPa].

Mez únavy vzorku lze odhadnout na základě meze pevnosti materiálu dle Mischkeho: [41]

$$\sigma_{Co} = 0,504 R_m \quad (3.9)$$

kde: R_m – mez pevnosti materiálu [MPa].

Redukované napětí v hřídeli lze vypočítat podle von Misesa: [41]

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (3.10)$$

kde: σ_a – amplituda normálového napětí v hřídeli [MPa],

τ_a – amplituda smykového napětí v hřídeli [MPa].

Amplitudu normálového se vypočte ze znalosti zatížení: [41]

$$\sigma_a = \beta_\sigma \frac{M_o}{W_o} \quad (3.11)$$

kde: M_o – ohybový moment v hřídelovém konci [Nm],

$$M_o = F_R \cdot 0,001l, \quad (3.12)$$

F_R – radiální síla [N],

l – rameno síly [mm],

W_o – modul průřezu v ohybu [mm³],

$$W_o = \frac{\pi d^3}{32}, \quad (3.13)$$

d – průměr hřídele [mm],

β_σ – součinitel vrubu [-].

Obdobně lze určit amplitudu smykového napětí: [41]

$$\tau_a = \beta_\tau \frac{1000M_k}{W_k} \quad (3.14)$$

kde: M_k – točivý moment v hřídelovém konci [Nm],

W_k – modul průřezu v ohybu [mm³],

$$W_k = \frac{\pi d_h^3}{16}, \quad (3.15)$$

d_h – průměr hřídele [mm],

β_τ – součinitel vrubu [-].

Pro určení součinitelů vrubu β_σ a β_τ je nutné znát součinitele tvaru vrubu. Ty se určí z nomogramů v příloze 3. Pro výpočet součinitelů vrubu se použije modifikovaná Neuberova rovnice: [41]

$$\beta = \frac{\alpha_\sigma}{1 + \frac{2(\alpha - 1)\sqrt{a}}{\alpha\sqrt{r}}} \quad (3.16)$$

kde: α – součinitel tvaru vrubu [-],

\sqrt{a} – Neuberova konstanta [mm^{1/2}], pro osazení platí:

$$\sqrt{a} = \frac{139}{R_m}, \quad (3.17)$$

R_m – mez pevnosti materiálu [MPa],

r – poloměr vrubu [mm].

Hřídelový konec adaptéru je nejkratší možný, aby byl v nejužším místě minimalizován ohybový moment. Vzhledem k šířce hnacího kola posuvového mechanismu byl zvolen na 15 mm. Na osazení z hřídelového konce je pro co nejmenší koncentraci napětí potřeba velký rádius. Aby bylo možné hnací kolo dorazit až na osazení, největší možný rádius je 1 mm. Velký průměr osazení činí pouhých 13 mm, opět kvůli koncentraci napětí. Poměr průměrů v osazení je tak nejmenší možný a stále je zde dostatečná dosedací plocha pro hnací kolo.

Dosazením do rovnic (3.7), (3.8) a jejich dosazením do rovnice (3.6) lze určit korigovanou mez únavy jako funkci meze pevnosti:

$$\begin{aligned} \sigma'_C &= 4,51 \cdot R_m^{-0,265} \cdot 1,24 \cdot 10^{-0,107} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 0,504 \cdot R_m \\ &= 1,7933 \cdot R_m^{0,735} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Součinitele vrubu v ohybu a krutu lze určit dosazením vztahu (3.17) do rovnice (3.16):

$$\beta_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}}{1 + \frac{2(\alpha_{\sigma} - 1)\sqrt{a}}{\alpha_{\sigma}\sqrt{r}}} = \frac{1,6}{1 + \frac{2(1,6 - 1)139}{1,6 R_m}} = \frac{1,6R_m}{R_m + 104,25} \quad (3.19)$$

$$\beta_{\tau} = \frac{\alpha_{\tau}}{1 + \frac{2(\alpha_{\tau} - 1)\sqrt{a}}{\alpha_{\tau}\sqrt{r}}} = \frac{2}{1 + \frac{2(2 - 1)139}{2 R_m}} = \frac{2R_m}{R_m + 139} \quad (3.20)$$

Amplituda normálového napětí se vypočte dosazením rovnic (3.4), (3.12), (3.13) a (3.19) do rovnice (3.11):

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \beta_{\sigma} \frac{M_o}{W_o} = \frac{1,6R_m}{R_m + 104,25} \frac{32F_R l}{\pi d_h^3} = \frac{1,6R_m}{R_m + 104,25} \cdot \frac{32 \cdot 798,13 \cdot 10}{\pi \cdot 10^3} \\ &= \frac{130,076 \cdot R_m}{R_m + 104,25} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Obdobně lze dosazením vztahu (3.15) a (3.20) do (3.14) určit amplitudu smykového napětí:

$$\begin{aligned} \tau_a &= \beta_{\tau} \frac{1000M_k}{W_k} = \frac{2R_m}{R_m + 139} \frac{16000M_k}{\pi d_h^3} = \frac{2R_m}{R_m + 139} \cdot \frac{16000 \cdot 15}{\pi \cdot 10^3} \\ &= \frac{152,788 \cdot R_m}{R_m + 139} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Redukované napětí se získá dosazením rovnic (3.21) a (3.22) do vztahu (3.10):

$$\sigma_R = \sqrt{\left(\frac{130,076 \cdot R_m}{R_m + 104,25}\right)^2 + 3 \left(\frac{152,788 \cdot R_m}{R_m + 139}\right)^2} \quad (3.23)$$

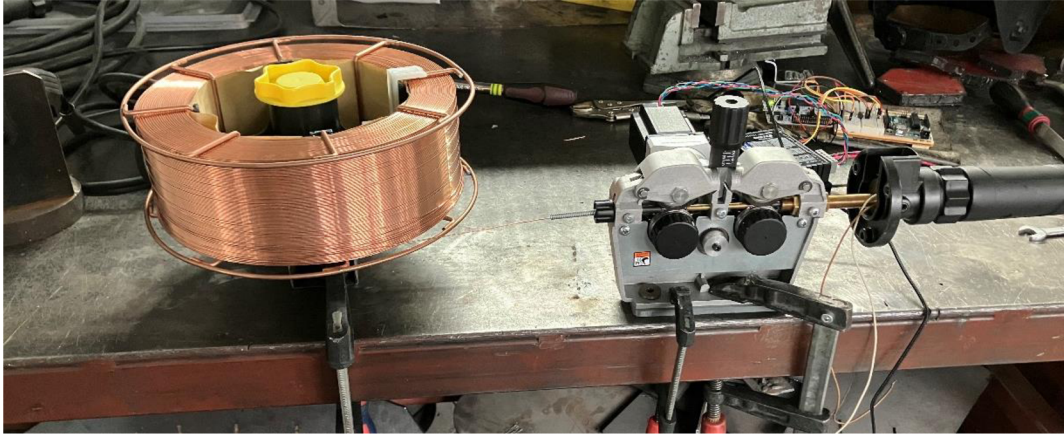
Nakonec lze dosazením rovnic (3.18) a (3.23) do rovnice (3.5) vyjádřit bezpečnost vůči meznímu stavu únavové pevnosti v osazení jako funkci meze pevnosti materiálu hřídelového adaptéru:

$$k = \frac{1,7933 \cdot R_m^{0,735}}{\sqrt{\left(\frac{130,076 \cdot R_m}{R_m + 104,25}\right)^2 + 3 \left(\frac{152,788 \cdot R_m}{R_m + 139}\right)^2}} \quad (3.24)$$

Funkční hodnota funkce dané vztahem (3.24) je rovna jedné v $R_m = 850,55$ MPa. To znamená, že materiál hřídele musí mít mez pevnosti v tahu vyšší než právě 850,55 MPa. Při této mezi pevnosti je dle vztahu (3.23) redukované napětí rovno 255,26 MPa. Tato hodnota musí být menší než mez kluzu zvoleného materiálu. Tyto požadavky splňuje například nízkolegovaná ocel 41Cr4, která v zušlechtném stavu vykazuje mez kluzu 800 MPa a mez pevnosti 1100 MPa. Bezpečnost vůči meznímu stavu únavové pevnosti hřídelového adaptéru z tohoto materiálu je dle vztahu (3.24) rovna hodnotě 1,17. [43]

Těleso adaptéru je vyrobeno z hliníkové slitiny. Pro dobrou obrobiteľnosť a mechanické vlastnosti byla zvolena slitina EN AW 7075, kterou je možno nahradit o něco hůře, ale výrazně levnější slitinou EN AW 6082. Celá sestava posuvového mechanismu, adaptéru, převodovky a motoru je upevněna v plastovém držáku, který byl vyroben metodou 3D tisku z materiálu PETG. Tento materiál je odolný vůči teplotám, kterých může dosáhnout motor při dlouhodobém zatížení. Materiál držáku byl také zvolen z důvodu dielektrické pevnosti, neboť musí izolovat skřín podavače před napětím vysokofrekvenční jednotky pro zapálení

a stabilizaci oblouku. Pohon podavače byl úspěšně otestován 18 kg cívkou ocelového drátu o průměru 1 mm, viz obr. 17. Pro maximalizaci zatížení podavače byl použit bowden délky 5 m, který byl smotán do smyček o poloměru okolo 20 cm. Bowden je zakončen průvlakem pro MIG/MAG hořák a přípravkem připevněn k hořáku, viz obr. 18. [44]



Obr. 17 Testování pohonu podavače.



Obr. 18 Hořák pro ruční svařování s podáváním drátu.

3.2 Návrh řídicí elektroniky podavače

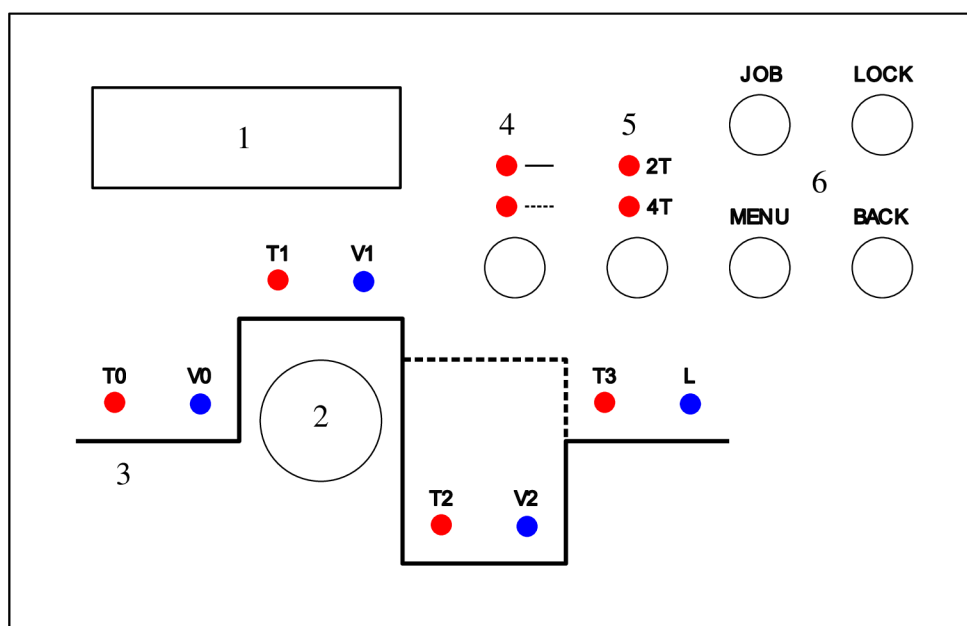
Řídicí elektronika podavače drátu měří potřebné údaje, zpracovává je a na jejich základě reguluje otáčky a polohu motoru. Podavač měří svařovací napětí, proud a vyhodnocuje, zda se přídavný materiál dotýká svařence. Řídicí jednotka podavače rovněž zpracovává vstupy z dálkových ovladačů a ovládacích prvků hořáku. Tyto vstupy jsou dále poslány do svařovacího zdroje. Elektronika byla rozdělena na do pěti obvodových desek, z nichž každá plní konkrétní funkci. Všechny desky byly navrženy v komerčním softwaru Altium Designer a jsou spojeny kabelovými svazky. Pro odrušení jsou použity feritové kroužky. Jednotlivé desky jsou:

- ovládací panel,
- deska pro ochranu podavače před vysokým napětím zapalovací jednotky,
- deska pro vyhodnocení dotyku drátu a základního materiálu,
- deska pro měření svařovacího napětí,
- hlavní řídicí deska

Všechny desky jsou propojeny konektory MOLEX DuraClik pro řídicí a konektory Faston šířky 4,8 mm pro připojení ke svařovacímu obvodu. Pro připojení dálkových ovladačů a připojení ke svařovacímu zdroji EWM Tetrix 230 AC/DC byly zvoleny konektory SOURIAU UTG. Pro měření proudu byl vybrán proudový senzor na principu Hallova jevu LEM LF 306-S, který poskytuje proudový výstup místo napěťového, takže je odolnější proti rušení. Silové proudové vodiče uvnitř skříně podavače mají průřez 95 mm² a podavač je osazen rychlospojkami ABICOR BINZEL ABI-IM 70-95 pro připojení hořáku a ABI-IF 70-95 pro připojení ke svařovacímu zdroji.

3.2.1 Ovládací panel

Ovládací panel podavače drátu umožňuje uživateli komunikovat se strojem, zadávat do něj potřebné parametry a odečítat hodnoty. Panel je vyhotoven jako samostatná obvodová deska, přimontovaná několika šrouby na přední stranu skříně podavače.



Obr. 19 Návrh ovládacího panelu podavače.

Na ovládacím panelu se nachází čtyřřádkový LCD display (obr. 19, pozice 1) pro zobrazení parametrů a nastavení podavače. Vlastní podávací rychlosti a časy jsou nastavitelné pomocí otočného enkodéru (obr. 19, pozice 2) na křivce (obr. 19, pozice 3), která schematicky znázorňuje průběh podávací rychlosti v čase. Zvolení jednotlivých parametrů je znázorněno rozsvícením příslušné vícebarevné LED diody. Jednotlivé nastavitelné parametry jsou:

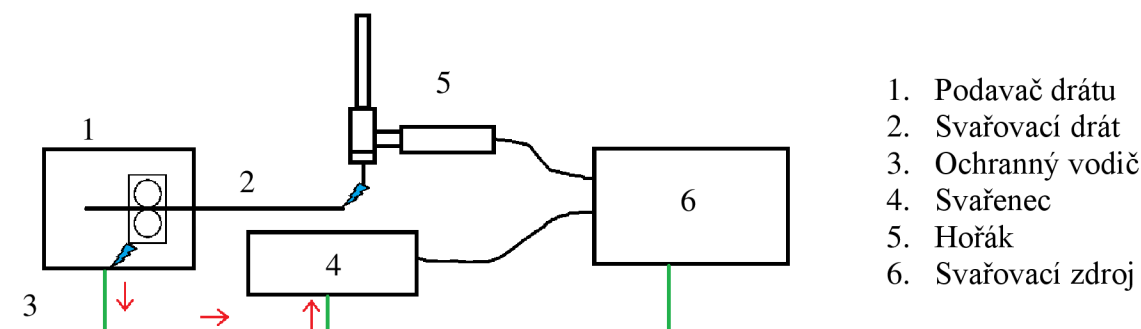
- T0 – prodleva od zapálení oblouku do začátku podávání [s],
- V0 – přibližovací rychlost [m/min],
- T1 – doba setrvání na hlavní rychlosti při přerušovaném podávání [s],
- V1 – hlavní podávací rychlost [m/min],
- T2 – doba setrvání na snížené rychlosti při přerušovaném podávání [s],
- V2 – snížená podávací rychlost [m/min], při nastavení nuly podavač podává přerušovaně, při záporné hodnotě dojde k odtahování drátu z tavné lázně,
- T3 – čas dohoření [s], tj. prodleva mezi ukončením podávání a pokynem zdroje k ukončení svařování, v případě nastavení záporné hodnoty odešle podavač pokyn k ukončení svařování před ukončením podávání, aby byl umožněn plynulý pokles proudu a vyplnění kráteru

- L – vzdálenost, o kterou se drát odtáhne ze svaru po ukončení podávání [mm]

Mezi přerušovaným a plynulým podáváním lze přepínat pomocí tlačítka (obr. 19, pozice 4). Spínací režimy 2T, kdy je potřeba držet tlačítka hořáku po celou dobu svařování, nebo 4T, při kterém se jedním stisknutím tlačítka hořáku proces zahájí a druhým ukončí, je opět možno volit tlačítkem (obr. 19, pozice 5). Systémová tlačítka MENU a BACK (obr. 19, pozice 6) slouží k vstupu do vnitřního nastavení podavače, JOB umožní uživateli uložit několik nastavení do paměti a následně je vyvolat. Tlačítkem LOCK se uzamkne ovládací panel proti nechtěným změnám. Obvodová deska ovládacího panelu je spojena svazkem vodičů s hlavní řídicí deskou. Tlačítka a enkodér jsou připojeny přímo na piny mikrokontroleru, Display a drivery pro rozsvícení LED diod komunikují s mikrokontrolerem pomocí sériové sběrnice I²C.

3.2.2 Deska pro ochranu podavače před vysokým napětím zapalovací jednotky

Některé obvody podavače jsou přímo připojeny na svařovací obvod nebo ke svařovacímu drátu. Zde všude se může vyskytnout zapalovací napětí, které může u strojního svařování špičkově dosáhnout až 20 kV. V případě uzemnění svařence ochranným vodičem může při pokusu o zapálení oblouku přeskočit zapalovací jiskra z elektrody na svařovací drát. Drát zavleče toto napětí až na podávací kladky a těleso posuvového mechanismu. Tato situace je znázorněna na obr. 20. [45]

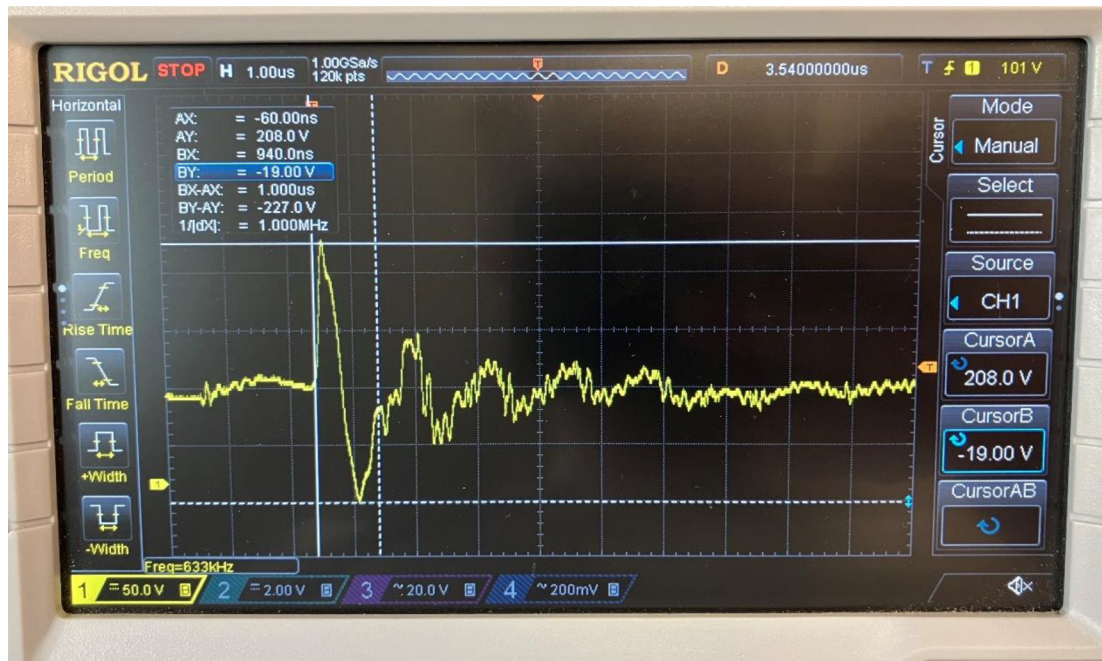


Obr. 20 Nebezpečný tok proudu podavačem drátu.

Musí být zabráněno přestupu zapalovacího napětí ze svařovacího drátu na skříň podavače. Tohoto lze dosáhnout dvěma způsoby. První, nejjednodušší, způsob je izolace posuvového mechanismu a cívky s drátem od skříně podavače. Zde ovšem nastává problém v hřídelovém adaptéru. Ten by musel být vyroben z nevodivého materiálu, aby se zabránilo přestupu zapalovacího napětí na motor, který je testován pouze na napětí 500 V. Bohužel žádný běžně dostupný nevodivý materiál by nepřeneseł potřebné zatížení.

Druhý způsob ochrany před zapalovacím napětím je toto napětí dostatečně snížit, aby nehrozilo přemostění vzduchové mezery mezi posuvovým mechanismem a skříní podavače. Snížení tohoto napětí je možné vhodným propojením posuvového mechanismu se skříní. Toto propojení nemůže být přímé, protože by v tomto případě mohl podavačem protékat svářecí proud. Zde lze s výhodou využít vysoké frekvence zapalovacího napětí a z drátu jej odstranit pomocí filtru zvaného dolní propust. Tento filtr je realizován výstupní impedancí zapalovací jednotky a filtračním kondenzátorem. Tento filtr je například v podavačích TIP TIG uskutečněn pomocí kondenzátoru s kapacitou 330 nF. Vzhledem ke kombinaci vysokého napětí a vysoké frekvence tyto kondenzátory musí splňovat požadavky nejen na kapacitu a napětí, ale i na rychlost změny napětí neboli strmost, označovanou dv/dt . Filtrační kondenzátory do ochranné desky byly zvoleny 3 kusy kondenzátoru FKP 1 s kapacitou 1 μ F, jmenovitým napětím 1600 V a strmostí 11000 V/ μ s. Při jejich sériovém zapojení je dosaženo kapacity 330 nF, při paralelním 3 μ F. Paralelně k těmto kondenzátorům je připojen ochranný transil,

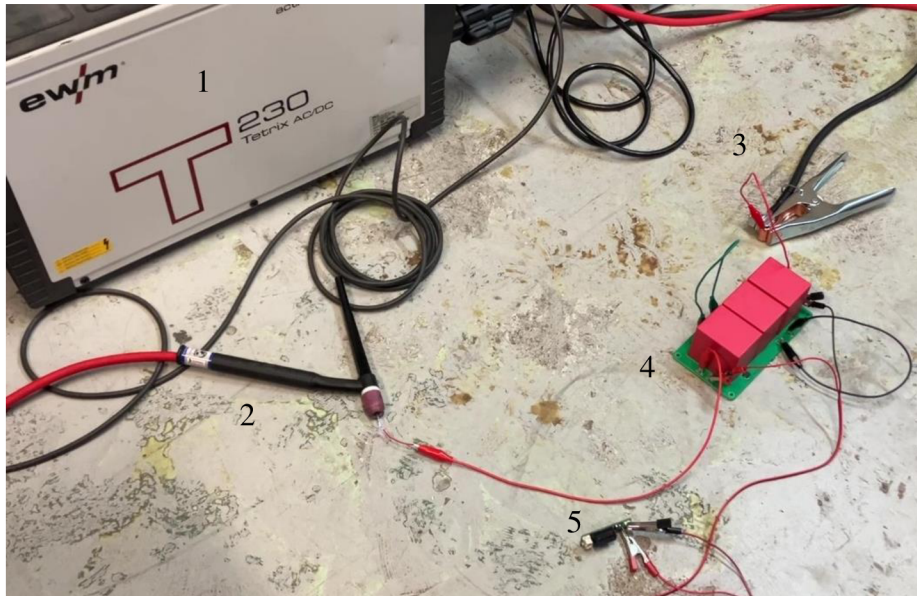
který pohltí přebytečnou energii v případě rezonance filtru nebo přepětí. Paralelní zapojení filtračních kondenzátorů snížilo zapalovací napětí na 208 V, viz obr. 21. [34; 35]



Obr. 21 Průběh zapalovacího napětí po filtraci.

3.2.3 Deska pro vyhodnocení dotyku drátu a základního materiálu

Vyhodnocení dotyku drátu a svařence je potřeba již na začátku svařovacího procesu, kdy je potřeba přejít z přibližovací rychlosti na vlastní podávání. Při dotyku drátu a svařence je také možné pozastavit nebo zpomalit podávání a zpětnou vazbou tak kompenzovat nepřesné nebo nevhodné nastavení podávací rychlosti. Nejjednodušší způsob vyhodnocení dotyku je připojení zdroje napětí s vysokým vnitřním odporem jedním pólem k drátu a druhým ke svařenci. Měřením napětí zdroje lze vyhodnotit dotyk díky tomu, že zkratem poklesne napětí zdroje k nule. K měření napětí lze použít komparátor. Tato součástka ovšem není odolná vůči vysokému napětí, a tak je nutné ji dodatečně ochránit. Pro ochranu komparátoru byla použita dolní propust. Tento filtr se opět skládá z rezistoru a kondenzátoru, ale má mnohem vyšší impedanci v porovnání s filtrem v ochranné desce. Díky vyšším odporům lze použít menší kondenzátory, a tím zrychlit odezvu obvodu a rychlost obnovy na původní hodnoty napětí před dotykem. Za filtrem je zapojen ochranný transil. Vzhledem k tomu, že na délce svařovacího oblouku je úbytek napětí, bude se toto napětí dostávat na svařovací drát. Toto napětí je proměnné a může při svařování střídavým proudem dosahovat nejen záporných, ale i kladných hodnot. Proto je nutné měřit přiblížení k nule z kladného i záporného směru. Toto napětí také nabíjí kondenzátory na ochranné desce, které se následně vybíjejí zkratem, čímž se zde vytvoří velké vybíjecí proudy. Toto je další důvod pro použití kondenzátorů s vysokou hodnotou dv/dt . Výstup komparátoru je od svařovacího obvodu izolován optočlenem. Izolovaný výstupní signál je odeslán do hlavní řídicí desky. Funkce desky byla simulována v softwaru LTspice a její odolnost proti vysokému napětí byla následně experimentálně ověřena na prototypu pomocí vysokofrekvenční jednotky svařecího zdroje Tetrix 230 AC/DC od výrobce EWM (obr. 22).

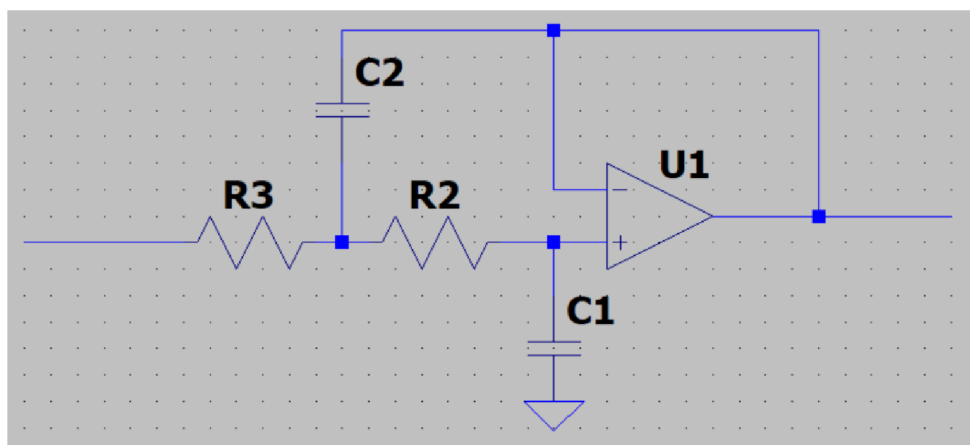


1. Svařovací zdroj
2. Hořák (- pól)
3. Zemnění (+ pól)
4. Ochranná deska
5. Deska detekce dotyku

Obr. 22 Zkouška odolnosti desek proti zapalovacímu napětí.

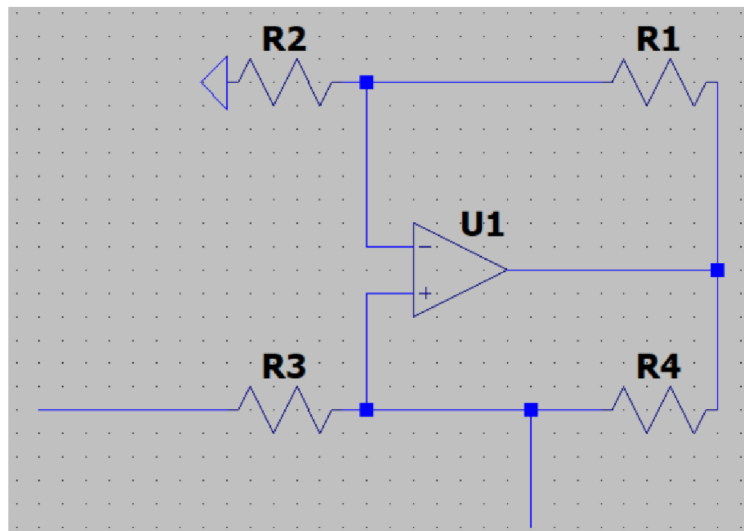
3.2.4 Deska pro měření svařovacího napětí

Napětí na oblouku lze použít k učení jeho délky. Díky znalosti změn délky oblouku je možné tyto změny korigovat a zajistit tak plynulé podávání materiálu i při proměnné vzdálenosti hořáku od svařence. V případě metody TIG je ovšem měření svařovacího napětí komplikované kvůli přítomnosti zapalovacího napětí. Měřicí obvod je připojen přímo na svařovací obvod, a tak na rozdíl od ochranné desky zde není možné zapalovací napětí jednoduše potlačit velkými kondenzátory. Měřicí deska musí měřený obvod ovlivnit co nejméně, neboť pokud po odfiltrování zapalovacího napětí by již možné zapálit oblouk. V této desce je signál filtrován dolní propustí sedmého řádu. První tři filtry jsou pasivní, neboť žádný aktivní prvek nevydrží vysoká zapalovací napětí. Jakmile je pomocí filtrů napětí dostatečně sníženo, je operačním zesilovačem odděleno a dále filtrováno aktivními filtry topologie Sallen-Key (obr. 23).



Obr. 23 Filtr topologie Sallen-Key.

Výstup signál z filtrů je stále pevně spjat s referenčním napětím svařovacího obvodu, tedy se svařencem. Tento potenciál však může být odlišný od nulového potenciálu podavače, což by mohlo mít za následek zkreslené měření nebo poškození elektronických komponent. Proto je nutné tento signál izolovat. K tomuto účelu byl použit izolační zesilovač AMC1350. Napěťový signál z izolačního zesilovače je však poměrně slabý a je tak náchylný k rušení. Praktičtější možnost, než signál zesilovat je jeho převedení z napěťového na proudový. K tomuto převodu slouží napětím řízený zdroj proudu zvaný Howlandova proudová pumpa (obr. 24). V hlavní řídicí desce je tento proudový signál pomocí rezistoru převeden zpět na napěťový.



Obr. 24 Howlandova proudová pumpa.

3.2.5 Hlavní řídicí deska

Tato deska přijímá vstupy z dálkových ovladačů a signály z měřicích desek, tyto údaje zpracovává a řídí motor podavače. Hlavní součástí této desky je mikrokontroler. Jedná se o čip, ve kterém je nahrán software a který zpracovává všechna data. Pro tento podavač byl zvolen mikrokontroler STM32H725ZGT6. Tento čip obsahuje jednojádrový procesor pracující na frekvenci 550 MHz, analogově-digitální převodníky (ADC), vestavěnou paměť, několik rozhraní pro komunikaci a široké spektrum univerzálních vstupů a výstupů (GPIO). Řídicí deska obsahuje rezistory pro převod proudových signálů z desky pro měření napětí a sondy pro měření proudu, izolační zesilovače AMC1350 pro připojení dálkových ovladačů a ISO124 pro připojení podavače ke svařovacímu zdroji. Digitální vstupy a výstupy jsou izolovány pomocí vícekanálových optočlenů. Použitý mikrokontroler rovněž podporuje rozhraní Ethernet, umožňující jeho komunikaci se síťovými servery. Dále je zde integrována sběrnice USB pro připojení externích paměťových zařízení. Na řídicí desce je také paměťový modul pro ukládání uživatelských nastavení. Řídicí signály jsou uzpůsobeny pro připojení ke svářecímu zdroji EWM Tetrix 230 AC/DC, nicméně pro připojení k jinému zdroji je potřeba pouze vyměnit připojovací konektor.

4 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ

Vlastnosti zvoleného krokového motoru s planetovou převodovkou byly potvrzeny nadstandardní zátěží pětimetrovým bowdenem svinutým do smyček. Motor nejevil žádné známky přetížení, nepřehříval se a v případě ucpání konce bowdenu byl schopen protáčet kladky. Teploty napájecího zdroje ani driveru se nezvýšily výrazně nad teplotu okolí. Pohon je schopen přerušovaného podávání do frekvence cca 5 Hz bez nutnosti oscilace podávacího mechanismu. Zvláště byla ověřena životnost propojovacího hřídele, který je v tomto případě zatěžován mnohem více než u podavačů MIG/MAG. Je zatěžován střídavým cyklem.

Ochranná deska (obr. 25) s deskou detekce dotyku (obr. 26) byly otestovány se vzduchovou mezerou pro zapalovací jiskru ze svařovacího zdroje i přímým připojením na svařovací elektrodu. V obou případech spolehlivě odvádí vysokofrekvenční signál ze svařovacího drátu a chrání tak pohon. Deska detekce dotyku je izolovaná a odolná proti napětí naprázdno běžných svařovacích zdrojů.

Deska pro měření (obr. 27) napětí je rovněž izolována. Byla opět testována vysokofrekvenčním zapalováním, kde vykazovala velmi malé zatížení zapalovací jednotky. Umožňuje měření napětí při svařování stejnosměrným, střídavým i pulzním obloukem. Deska dokáže měřit v celém rozsahu napětí pro metodu TIG a vydrží i nejvyšší povolené stejnosměrné napětí naprázdno.

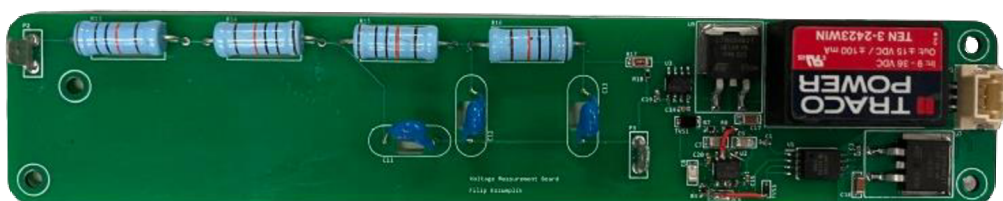
Měření proudu a detekce dotyku drátu se svařencem dává podavači stejné vlastnosti jaké má systém Fronius DynamicWire, ale bez nutnosti použití speciálního svařovacího zdroje. Měření napětí na oblouku dává podavači schopnost měřit výkon, přivedený do svaru a tomu přizpůsobovat rychlost podávání drátu.



Obr. 25 Deska detekce dotyku.



Obr. 26 Ochranná deska.



Obr. 27 Deska pro měření napětí.

ZÁVĚR

Práce řeší návrh pohonu a řídicí elektroniky podavače drátu pro svařování metodou TIG. Pro pohon drátu byl zvolen krokový motor D57CM31 výrobce Leadshine s přesnou planetovou převodovkou EG23-G5-D8 od společnosti OMC. Tento systém má stejný výstupní točivý moment jako standardní motory podavačů pro svařování metodou MIG/MAG. Pro připojení pohonu k posuvovému mechanismu byl navržen hřídelový adaptér a jeho uložení do tělesa s montážními přírubami. Tento posuvový systém byl vyroben a úspěšně otestován na maximálním zatížení s 18 kg cívkou 1 mm ocelového drátu a 5 m bowdenem. Celý posuv je připevněn plastovým držákem a je tak elektricky izolován od skříně. Elektronika podavače je rozdělena do pěti obvodových desek a je plně izolována od svařovacího obvodu, včetně měřících obvodů. Odolnost ochranné desky a měřících desek byla experimentálně ověřena na prototypch. Kvůli několikátýdennímu zpoždění v dodávce elektronických komponent nebylo možné vyrobit prototyp řídicí desky a ovládacího panelu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AMBROŽ, Oldřich; KANDUS, Bohumil a KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologiů*. Svařování. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-857-7181-0.
 2. *TIG svařování I - základní principy*. Online. Svarinfo.cz. 2009. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>. [cit. 2024-04-23].
 3. FRONIUS INTERNATIONAL. *What is TIG welding?* Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/world-of-welding/tig-welding>. [cit. 2024-04-19].
 4. EWM. *EWM tigSpeed*. Online. 2018. Dostupné z: https://www.ewm-group.com/d/index.php?pw=Prospekte/053_000060_00001.pdf. [cit. 2024-02-15].
 5. FRONIUS INTERNATIONAL. *Brochure DynamicWire*. Online. 2022. Fronius. Dostupné z: https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Brochures/PW_BRO_DynamicWire_EN.pdf. [cit. 2024-02-15].
 6. EWM. *Tigspeed*. Online. In: Metoda svařování WIG, svařování hliníku, svařování elektrickým obloukem – EWM GmbH. Dostupné z: <https://www.ewm-group.com/cs/innovation-forschung/schweissverfahren-wig.html>. [cit. 2024-02-15].
 7. FRONIUS INTERNATIONAL. *TIG DynamicWire at a glance*. Online. In: TIG DynamicWire. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/product-information/iwave-tig-welding-system/tig-dynamicwire>. [cit. 2024-02-15].
 8. TRAFIMET GROUP. *EASY 400 PLUS*. Online. Dostupné z: <https://www.trafimet.com/en/products/tig/easy400plus>. [cit. 2024-03-30].
 9. BALEJ, Zdeněk; KUDĚLKA, Vladimír a OPLETAL, Jan. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí: (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Svařování. Ostrava: ZEROSS, 2013. ISBN 978-80-85771-03-9.
 10. ORSZÁGH, Viktor a ORSZÁGH, Peter. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. ISBN 80-88780-21-7.
 11. DUK. *File: GTAW-cs.svg*. Online. Wikimedia Commons. 2010, Licence: CC BY-SA 3.0. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GTAW-cs.svg>. [cit. 2024-05-20].
 12. EWM. *Návody k obsluze: Svařovací přístroj Tetrax 230 AC/DC Comfort 5P TM Tetrax 230 AC/DC Comfort 8P TM*. 099-000159-EW512. 2016.
 13. *TIG svařování I - základní principy*. Online. Svarinfo.cz. 2009. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>. [cit. 2024-04-23].
 14. HUMLACH, Pavel. *Dotazy k bakalářské práci Podavač drátu* [elektronická pošta]. Message to: 239521@gmail.com. 21. května 2024 11:33 [cit. 2024-05-21]
 15. FRONIUS INTERNATIONAL. *5 functions that a mobile TIG device should have*. Online. Perfect Welding. Dostupné z: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/en/5-functions-that-a-mobile-tig-device-should-have/>. [cit. 2024-04-19].
 16. HAVELKA, Pavel. *D.O.C. jako nástroj pro zvýšení kvality*. Online. D.O.C® - Dynamic Oxide Control. Teplice, 2007. Dostupné z: https://automig.cz/fileadmin/pub/doc/pdf/DOC1_2007.pdf. [cit. 2024-04-22].
 17. ALEXANDER BINZEL SCHWEISSTECHNIK. *CR1000/1250 (Betriebsanleitung | Operating instructions)*. Online. Dostupné z: <https://www.binzel-abicor.com/CZ/cze/sortiment/zubehoer/cooling-units-and-wire-feeding-units/cr-1000-cr-1250/>. [cit. 2024-04-19].
-

-
18. MILLER ELECTRIC. *How a TIG Welder Works and When to TIG Weld*. Online. MillerWelds. Dostupné z: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/tig-it-how-a-tig-welder-works-and-when-to-tig-weld>. [cit. 2024-04-19].
 19. GCE GROUP. *GCE ProControl® (CZ)*. Online. GCE Group Czech Region. C2019. Dostupné z: <https://czech.gcegroup.com/products/procontrol-cz>. [cit. 2024-05-14].
 20. GCE GROUP. *UNICONTROL*. Online. GCE Group Czech Region. C2014. Dostupné z: <https://czech.gcegroup.com/products/unicontrol>. [cit. 2024-05-14].
 21. *Mechanismy podávání drátu u MIG/MAG svářeček*. Online. Svarinfo.cz. 2008. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008020702>. [cit. 2024-04-22].
 22. *Mechanismy podávání drátu u MIG/MAG svářeček - II*. Online. Svarinfo.cz. 2008. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008032801>. [cit. 2024-04-22].
 23. *Mechanismy podávání drátu u MIG/MAG svářeček - III*. Online. Svarinfo.cz. 2009. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008022805>. [cit. 2024-04-22].
 24. FRONIUS INTERNATIONAL. *MIG/MAG Welding Torches For Manual Welding Applications*. Online. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/product-information/mig-mag-torches?referer=products>. [cit. 2024-04-23].
 25. PRIMEWELD. *PW2500 Spool Gun*. Online. Dostupné z: <https://primeweld.com/products/hd2000-spool-gun>. [cit. 2024-04-23].
 26. VIJAY ENTERPRISES. *TIG-Welding Torch System ABITIG-WH*. Online. Dostupné z: <https://www.vjentsnsk.com/robottig.php>. [cit. 2024-04-23].
 27. EWM. *EFeed wire feeder – full traction*. Online. XQ Serie eFeed. C2023. Dostupné z: <https://products.ewm-group.com/en/products/xqserie/75-produkte/xq-familie/xq-serie/292-xq-serie-efeed.html>. [cit. 2024-04-29].
 28. WWW.SVARECIKUKLA.CZ. *Kladka podávací pro drát do svářečky*. Online. Svarecikukla.cz. C2024. Dostupné z: <https://www.svarecikukla.cz/kladka-podavaci-pro-drat-do-svarecky/>. [cit. 2024-04-29].
 29. FRONIUS INTERNATIONAL. *COLD METAL TRANSFER*. Online. [COLD METAL TRANSFER]. 2016. Dostupné z: https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Brochures/PW_BRO_CMT_EN.pdf. [cit. 2024-04-29].
 30. BRUTENIČ, Michal. *Návštěva stánku* [elektronická pošta]. Message to: filip.kozumplik.1@gmail.com. 6. října 2023 8:21 [cit. 2024-04-29].
 31. FRONIUS INTERNATIONAL. *M-125313.webp (1540×866)*. Online. Systémy PushPull. C2024. Dostupné z: <https://www.fronius.com/~protected-media/imported-media/12/53/m-125313.webp?q=40&iw=1540&ih=866&crop=1&imgtype=JPG>. [cit. 2024-04-29].
 32. EWM. *Wire feed unit tigSpeed oscillation drive 45 hotwire*. Online. EWM GmbH Online Shop. 2023. Dostupné z: <https://www.ewm-sales.com/upload/099-000180-EW501.pdf>. [cit. 2024-04-29].
 33. *Device for feeding a welding wire to a welding device (US)*. Siegfried PLASCH. Přihl.: 21. 3. 2014. Uděl.: 26. 9. 2017. US9770778B2. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US9770778B2/en?q=US9770778>. [cit. 2024-04-29].
 34. TIP TIG USA. *TIP TIG TECHNICAL MANUAL V4.5*. Online. TIP TIG USA. 2014. Dostupné z: <http://www.tiptigusa.com/wp-content/uploads/2014/10/TIP-TIG-MANUAL-4.5.pdf>. [cit. 2024-04-29].
-

-
35. TIP TIG USA. *TIP TIG MANUAL V5.0 REV 1.1*. Online. TIP TIG USA. 2018. Dostupné z: <https://tiptigusa.com/wp-content/uploads/2018/01/TIP-TIG-MANUAL-5.0-REV-1.1-1.pdf>. [cit. 2024-04-29].
 36. KUHTREIBER. *Posuv drátu CWF 510*. Online. Kuhlreiber.shop. C2023. Dostupné z: <https://kuhtreiber.shop/produkt/posuv-dratu-cwf-510/>. [cit. 2024-05-13].
 37. FRONIUS INTERNATIONAL. *CMT COLD METAL TRANSFER*. Online. [COLD METAL TRANSFER]. C2011. Dostupné z: https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Brochures/PW_BRO_CMT_Process_EN.pdf. [cit. 2024-05-13].
 38. LEADSHINE. *D57CM31*. Online. Leadshine. C2024. Dostupné z: <https://www.leadshine.com/product-detail/D57CM31.html>. [cit. 2024-05-14].
 39. OMC. *EG Series Planetary Gearbox Gear Ratio 5:1 Backlash 15arc-min for 8mm Shaft Nema 23 Stepper Motor*. Online. STEPPERONLINE. C2005-2024. Dostupné z: <https://www.omc-stepperonline.com/eg-series-planetary-gearbox-gear-ratio-5-1-backlash-15-arc-min-for-8mm-shaft-nema-23-stepper-motor-eg23-g5-d8>. [cit. 2024-05-14].
 40. FOCUS TECHNOLOGY. *Wholesale 45W 65W 95W 180 Rpm Welder Wire Feed Motor 24 Volt MIG Wire Feeder Motor*. Online. Made-in-China.com. C1998-2024. Dostupné z: <https://wewinchina.en.made-in-china.com/product/DxnUqARjIpki/China-Wholesale-45W-65W-95W-180-Rpm-Welder-Wire-Feed-Motor-24-Volt-MIG-Wire-Feeder-Motor.html>. [cit. 2024-05-14].
 41. BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, J. Keith. *Shigleyho konstruování strojních součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2023. ISBN 978-80-214-5471-2.
 42. SKF. *6003-2RSH Deep groove ball bearing with seals*. Online. SKF. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6003-2RSH>. [cit. 2024-05-16].
 43. *Přehled vlastností oceli 41Cr4*. Online. Bolzano. C2020. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-41cr4>. [cit. 2024-05-18].
 44. *Seznam hliníkových slitin*. Online. Seznam hliníkových slitin| NPS PROAL. C2019. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/>. [cit. 2024-05-16].
 45. ČSN EN IEC 60974-3, *Zařízení pro obloukové svařování – Část 3: Zařízení pro zapálení a stabilizaci oblouku*. Ed. 4. Česká agentura pro standardizaci, 2020. 05 2205.
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
\sqrt{a}	Neuberova konstanta	[mm ^{1/2}]
d	průměr roztečné kružnice hnacího kola	[mm]
d _h	průměr hřídele	[mm]
d _k	průměr kladky	[mm]
F _R	radiální síla	[N]
i	převodový stupeň převodovky	[-]
k	bezpečnost	[-]
k _a	součinitel povrchu	[-]
k _b	součinitel velikosti	[-]
k _c	součinitel zatížení	[-]
k _d	součinitel teploty	[-]
k _e	Součinitel spolehlivosti	[-]
k _f	součinitel dalších vlivů	[-]
l	rameno síly	[mm]
M _k	točivý moment na kladce	[Nm]
M _m	točivý moment motoru	[Nm]
M _o	ohybový moment	[Nm]
n _k	otáčky kladek	[min ⁻¹]
n _m	otáčky motoru	[min ⁻¹]
r	poloměr vrubu	[mm]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
v	rychlost posuvu	[m.min ⁻¹]
x	lineární vůle v posuvu způsobená převodovkou	[mm]
α	součinitel tvaru	[-]
α_n	úhel záběru	[-]
α_σ	součinitel tvaru v ohybu	[-]
α_τ	Součinitel tvaru v krutu	[-]
β	Součinitel vrubu	[MPa]
β_σ	součinitel vrubu v ohybu	
β_τ	součinitel vrubu v krutu	
δ	vůle v převodovce	
η	účinnost	[-]
σ_a	amplituda normálového napětí	[MPa]
σ'_C	korigovaná mez únavy	[-]
σ_{Co}	mez únavy vzorku	[MPa]
σ_R	redukované napětí	[MPa]
τ_a	amplituda smykového napětí	[MPa]

Zkratky

Označení	Legenda
TIG	Tungsten Inert Gas
WIG	Wolfram Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
CMT	Cold Metal Transfer

Označení	Legenda
PETG	Polyethylentereftalát Glykol
AC	Alternating Current
BLDC	Brushless Direct Current
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
ADC	Analog to Digital Converter
GPIO	General Purpose Input Output

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Charakteristiky stejnosměrného motoru z MIG/MAG podavače
Příloha 2 Charakteristiky krokového motoru D57CM31
Příloha 3 Nomogramy součinitelů tvaru α pro ohyb a krut
-

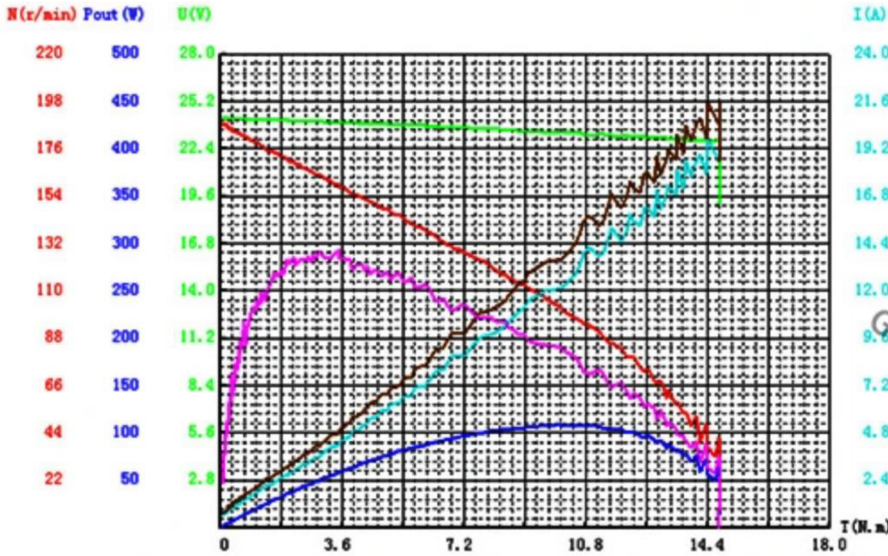
电机特性曲线图

生产厂家: 广州威稳电机有限公司

型号: D63L-2465-180

日期: 2019年 10月 23日

编号: F611910230001



电压:	24.19 (V)
起始点:	[0.10 (N.m)]
转速:	187.6 (r/min)
电流:	0.68 (A)
最大效率点:	[58.6%]
转矩:	3.55 (N.m)
转速:	159.1 (r/min)
电流:	4.22 (A)
输出功率:	59.15 (W)
最大转矩点:	[14.77 (N.m)]
转速:	26.9 (r/min)
电流:	20.24 (A)
输出功率:	41.61 (W)
最大输出功率点:	[107.88 (W)]
转矩:	10.05 (N.m)
转速:	102.5 (r/min)
电流:	12.10 (A)

