



Spolufinancované z
programu Európskej únie
Erasmus+



Erasmus+

MODUL I

Zdroje prúdu pre zváranie elektrickým oblúkom

Zdroje energie pro oblúčové zváranie



Úvod do zdrojov zvárania pre zváranie oblúkom

- Zváranie elektrickým oblúkom patrí medzi technológie tavného zvárania, pri ktorom sa využíva teplo elektrického oblúka.
- Veľké teplo je koncentrované v malom priestore, preto je možné rýchlo roztaviť zvarové plochy a nataviť prídavný materiál.
- Zváracie zdroje dodávajú energiu, ktorá je potrebná tak pre zapálenie, ako aj horenie elektrického oblúka.



Požiadavky na zdroje zvárania

- ▶ Na zdroje zvárania pre oblúkové zváranie sú kladené tieto požiadavky:
 - ▶ dobré zapalovanie oblúka a stabilný oblúk,
 - ▶ plynulá a jemná regulácia zváracieho prúdu, eventuálne i napätie podľa spôsobu zvárania, stály výkon a vysoká účinnosť,
 - ▶ napätie naprázdno musí zodpovedať druhu prúdu a spôsobu zvárania a nesmie byť vyššia ako prípustné hodnoty,
 - ▶ statická charakteristika musí zodpovedať spôsobu zvárania,
 - ▶ musí mať odolnosť proti krátkodobým skratom pri skratovom prenose kovu z elektródy,
 - ▶ dynamická charakteristika musí zabezpečiť po skrate rýchly nárast zváracieho napätia,
 - ▶ vysoká prevádzková spoľahlivosť, jednoduchá detekcia závad a ich rýchle odstránenie,
 - ▶ primerané obstarávacie a nízke prevádzkové náklady,
 - ▶ konštrukcia musí zaistiť bezpečnosť prevádzky v súlade s platnými normami a predpismi,
 - ▶ jednoduchá a nenáročná obsluha.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů*. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.



Požiadavky na zdroje zvárania

- Oblúkové zvaracie zdroje musia vyhovovať požiadavkám technológie zvárania a bezpečnostným predpisom.
- Zvaracie zdroje sú stavané pre menovité napájacie napätie fázové (230 V 50 Hz) alebo napätie združené (400 V 50 Hz), prípadne napätie trojfázové (3 x 400 V 50 Hz) elektrorozvodnej siete.



Zdroje zvárania

- ▶ Napätie naprázdno oblúkových zväracích zdrojov musí pre prostredie bez zvýšeného nebezpečenstva úrazu elektrickým prúdom spĺňať tieto požiadavky:
 - ▶ pri zdrojoch jednosmerného zväracieho prúdu môže byť špičková hodnota napätia naprázdno maximálne 113 V,
 - ▶ u zdrojov striedavého zväracieho prúdu môže byť špičková hodnota napätia naprázdno maximálne 113 V a efektívna hodnota napätia maximálne 80 V.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.



Rozdelenie zväracích zdrojov

- Zväracie zdroje pre oblúkové zväranie sa delia podľa:
 1. spôsobu premeny energie na:
 - zdroje rotačné (zväracie dynamá)
 - zdroje statické, netočivé (zväracie transformátory, usmerňovače, meniče)
 2. druhu dodávaného prúdu na:
 - zdroje jednosmerného prúdu (zväracie dynamá)
 - zdroje usmerneného prúdu (zväracie usmerňovače, meniče)
 - zdroje striedavého prúdu (zväracie transformátory)

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.



Rozdelenie zväracích zdrojov

- Zväracie zdroje statické (netočivé) sa delia na:
 1. zdroje so sieťovým transformátorom
 - zdroje striedavého prúdu: zväracie transformátory
 - zdroje usmerneného prúdu
 - zväracie usmerňovače neriadené
 - zväracie usmerňovače riadené
 2. zdroje bez sieťového transformátora
 - zväracie meniče (invertory)

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.



Základné technické parametre zväracích zdrojov

- Statické charakteristiky

- Statická charakteristika zdroja zväracieho prúdu je krivka závislosti pracovného napätia zdroja od zväracieho prúdu pri ustálenom stave a určitom nastavení regulačného stupňa zdroja.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 43.



Statické charakteristiky

- ▶ Hodnoty charakteristiky sa získajú meraním napätia a prúdu v elektrickom obvode zväracieho prúdu, do ktorého je zapojené regulačné zariadenie.
- ▶ Stav naprázdno a stav nakrátko - to sú dva krajné body statickej charakteristiky.
- ▶ Pri stave naprázdno zväracím obvodom nepreteká žiadny prúd a napätie zdroja je zvyčajne najvyššie - napätie naprázdno.
- ▶ So stúpajúcim prúdovým zaťažením napätie na zdroji klesá.
- ▶ Elektróda je v kontakte so zväraným materiálom - stav nakrátko, tzn., že obvodom preteká najvyšší prúd tzv. skratový.
- ▶ Podľa priebehu statickej charakteristiky v blízkom okolí pracovného bodu, t. j. podľa strmosti charakteristiky sa určujú charakteristické vlastnosti zväracích zdrojov:

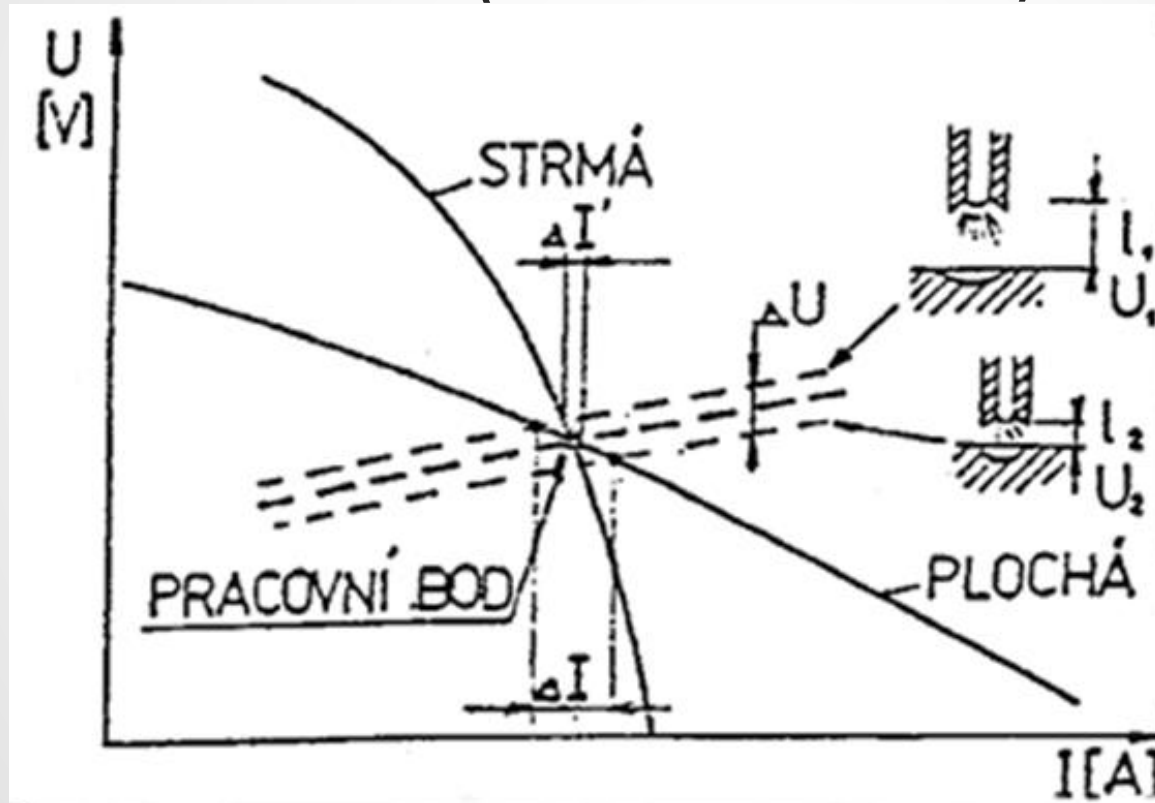


Vlastnosti zväracích zdrojov

- zdroje s konštantným napätím (tzv. tvrdé zdroje) - malé zmeny napätia, plochá charakteristika,
- zdroje s konštantným prúdom (tzv. mäkké zdroje) - malé zmeny prúdu, strmá charakteristika,
- zdroje s konštantným výkonom, majú pri rastúcom zväracom prúde pokles napätia na zdroji taký, že ich súčin U krát I (výkon) je možné považovať za konštantný, majú zaťažovaciu charakteristiku mierne klesajúcu (polostrmú).



Vplyv plochej a strmej charakteristiky na kolísanie prúdu vyvolané zmenou napätia na oblúku (zmenou dĺžky oblúka)



AMBROŽ, O. A KOL. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. s. 91.



Zváracie zdroje

- Niektoré zváracie zdroje majú možnosť prepínať sklon statickej zaťažovacej charakteristiky.
- Charakteristiky sa dajú prepínať stupňovito alebo plynule a zdroje zváracieho prúdu majú zvyčajne celý súbor statických zaťažovacích charakteristík.
- Normalizované napätia na oblúku je dané polohou pracovného bodu nastavenej zaťažovacej charakteristiky určeného ako priesečník tejto charakteristiky s priamkou normalizovaných pracovných napätí ($U_p = f(I_2)$).
- Poloha pracovného bodu je teda daná priesečníkom zvolenej statickej zaťažovacej charakteristiky zdroja s voltampérovou charakteristikou oblúku.



Zváracie zdroje

- Pre ručné zváranie elektrickým oblúkom je vhodný zvárací zdroj so strmou statickou charakteristikou, kedy veľká strmosť zaťažovacej charakteristiky zdroja v okolí pracovného bodu zaisťuje pri relatívne veľkom kolísaní napätia na oblúku (pri meniacej sa dĺžke elektrického oblúka) nepatrné zmeny zváracieho prúdu.
- V prípade, že by strmosť dosiahla hodnotu 90° (statická charakteristika v okolí pracovného bodu je kolmá na os prúdu), by sa potom pri kolísaní dĺžky oblúku hodnota zváracieho prúdu vôbec nemenila.
- Dĺžka elektrického oblúka, ktorá ovplyvňuje priamo napätie na oblúku, sa môže meniť napr. v dôsledku nepokojného vedenia elektródy alebo vinou nerovnosti povrchu materiálu.

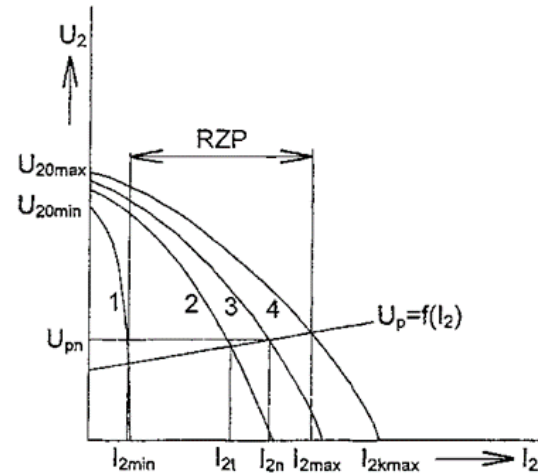
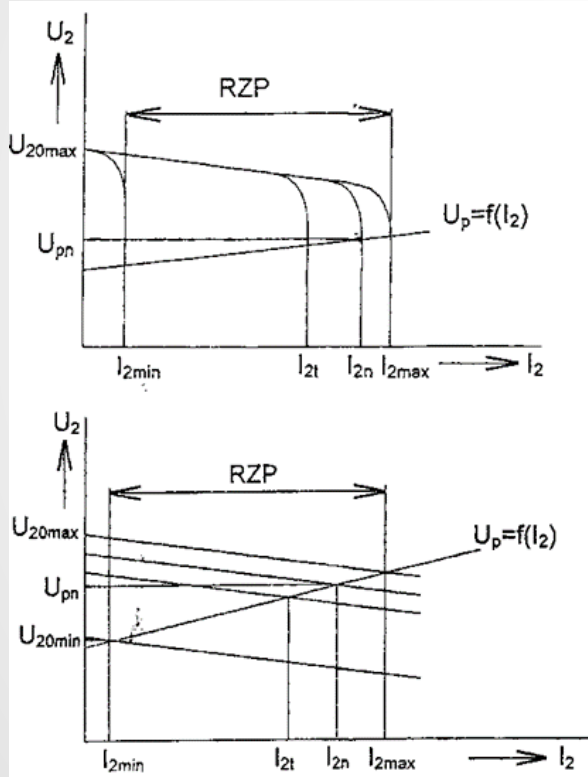


Zváracie zdroje

- Plochá charakteristika sa používa pre automatické zváranie pod tavidlom.
- Nastavená dĺžka elektrického oblúka zostáva nezmenená v prípade, keď rýchlosť podávania elektródy (drôtu) je rovnaká ako rýchlosť jej odtavovania.
- Rýchlosť odtavovania elektródy je závislá na veľkosti zváracieho prúdu.
- Posun drôtu do horáka (rýchlosť podávania elektródy) je konštantná.
- V prípade, že z nejakého dôvodu dôjde napr. k skráteniu dĺžky oblúka a v dôsledku toho k zníženiu napätia na oblúku, potom plochá zaťažovacia charakteristika zdroja zabezpečí zvýšenie zváracieho prúdu a tým aj zvýšenie odtavovacej rýchlosti elektródy.
- Dĺžka oblúka sa tak postupne zväčší na pôvodne nastavenú hodnotu.
- Táto tzv. samoregulačná funkcia plochej zaťažovacej charakteristiky je účinná aj v opačnom prípade, kedy dôjde k zväčšeniu dĺžky oblúka.



Charakteristiky zváracích zdrojov



Charakteristiky zdroja strmého, polostrmého a plochého

U_{pn} - normalizované pracovné napätie

$A_{j_{2n}}$ - normalizovaný pracovný prúd

$A_{j_{2t}}$ - trvalý pracovný prúd

RZP - rozsah zaťažovacích prúdov

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 44.



Pracovný bod

- Poloha pracovného bodu je daná priesečníkom zvolenej statickej zaťažovacej charakteristiky zdroja s voltampérovou charakteristikou spotrebiča (oblúka).
- Dobrá kvalita zvarového spoja je podmienená stabilitou elektrického oblúka.
- Stabilita horenia oblúka pri zváraní závisí od technológie zvárania rovnako ako od vlastností zváracích zdrojov.
- Na základe porovnania strmosti zaťažovacej charakteristiky zdroja a voltampérovej charakteristiky oblúka sa stabilita zvaracieho oblúka vyjadruje ako rozdiel strmosti zaťažovacej charakteristiky zdroja a strmosťou voltampérovej charakteristiky oblúku v priesečníku oboch týchto statických charakteristík čiže v pracovnom bode.



- Dynamická charakteristika zdroja zväracieho prúdu udáva prechodové hodnoty napätia a prúdu pri rýchlych zmenách v priebehu zvärania (napr. pri zapalovaní oblúku, pri skrate, prerušení skratu a pod.).
- Pre zväracie zdroje sú dôležité dynamické charakteristiky, ktoré zachytávajú časovú závislosť prúdu a napätia pri cykle "naprázdno - skrat - naprázdno", poprípade "zaťaženie - skrat - zaťaženie", pričom sa posudzuje strmlosť počiatočného prúdu a vyjadruje sa v kA.s-1.
- Pre dosiahnutie optimálneho procesu musí byť dynamická strmlosť v určitom rozsahu, pričom predovšetkým skratový proces je veľmi citlivý na dodržanie dynamickej strmlosti.
- Pri skratovom (kvapkovom) prenose materiálu sa zaťaženie zväracieho zdroja mení veľmi rýchlo v dôsledku oblúkom prenášaných kvapiek z elektródy do kúpeľa zvarového kovu.
- Každá kvapka spôsobuje skrat, kedy napätie klesne skoro na nulu a prúd vzrastie cez prechodovú hodnotu na ustálenú hodnotu skratového prúdu (prúd nakrátko).
- Po skrate napätie vzrastie cez prechodovú hodnotu na ustálenú hodnotu, ktorá je úmerná dĺžke oblúka a prúd klesne na hodnotu zväracieho prúdu.
- Tvar dynamickej charakteristiky má význam predovšetkým pre zapalovanie oblúka, prenos zvarového kovu oblúkom a rozstrek zvarového kovu.



Vstupné a výstupné parametre

- Každý zdroj zväracieho prúdu charakterizujú tieto základné údaje:
 - Vstupné údaje (podmienky pripojenia zdroja k elektrorozvodnej sieti)
 - Výstupné údaje (zväracie vlastnosti zdroja)



Vstupné údaje

- Menovité vstupné (napájacie) napätie - fázové napätie 230 V alebo združené napätie 400 V jednorazovej rozvodnej siete alebo napätie 3 x 400 V troj fázovej rozvodnej siete
- Menovitý kmitočet - 50 Hz
- Menovitý príkon zdroja - príkon zdroja pri menovitom vstupnom napätí a menovitom výstupným zväracím prúdom
- Maximálny príkon zdroja - príkon zdroja pri menovitom vstupnom napätí a maximálnym výstupným zväracím prúdom
- Istenie siete - hodnota a druh sieťových poistiek
- Účinník $\cos \varphi$ - fázový posun medzi napätím a prúdom

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 45.



Výstupné údaje

- Napätie naprázdno - napätie na svorkách zvaracieho zdroja pri nezapálenom oblúku. Z dôvodu bezpečnosti sa obmedzuje veľkosť napätia naprázdno.
- Pracovné napätie - napätie medzi elektródou a zvarencom. Veľkosť pracovného napätia závisí od charakteristiky zvaracieho zdroja (hodnoty zvaracieho prúdu), druhu elektródy, dĺžky oblúka a ďalších vplyvov.
- Zvarací prúd - výstupný prúd zo zvaracieho zdroja.
- Zaťažovateľ DZ (pomerná doba zaťaženia) - pomer doby zaťaženia zdroja zvaracieho prúdu (t_s) pri prerušovanom zaťažení k celkovej dĺžke pracovného cyklu (doba zaťaženia t_s + Doba prestávky t_o). $DZ = t_s / (t_s + t_o) \times 100$ [%]
- Menovitý zvarací prúd - prúd, ktorý možno odoberať zo zvaracieho zdroja pri menovitej zaťažovateľi, na ktorý je zdroj navrhnutý. Ak nie je uvedené inak, predpokladá sa hodnota menovitého zaťažovateľa $DZ = 60\%$.
- Trvalý zvarací prúd - najvyšší prúd, ktorý môže zvarací zdroj dávať pri trvalom zaťažení ($DZ = 100\%$), tzn. neprerušovaný prúd, na ktorý je zdroj navrhnutý.



Zváracie prúdy

- Väčšina výrobcov zváracích zdrojov udáva rozsah zváracích prúdov a rozsah pracovných napätí pre určitý zaťažovateľ DZ.
 - Menovitý zvárací výkon - výkon zváracieho zdroja pri menovitom zváracom prúde a menovitom pracovnom napätí
 - Účinnosť zdroja = menovitý zvárací výkon / menovitý príkon zdroja x100 [%]
- Štandardný cyklus ručného zvarania je určený pre prerušované zvaranie pri zaťažovateli DZ = 60% a celkovej dĺžke pracovného cyklu 5 minút (prípadne 10 minút).
- Pri dĺžke pracovného cyklu 5 minút je doba zvarania $t_s = 3$ minúty a doba prestávky $t_o = 2$ minúty; pri dĺžke pracovného cyklu 10 minút je doba zvarania $t_s = 6$ minút a doba prestávky $t_o = 4$ minúty.



Charakteristiky jednotlivých typov zváracích zdrojov

- rotačné zváracie zdroje
- zváracie transformátory



Rotačné zvaracie zdroje

- Rotačné zvaracie zdroje generujú jednosmerný prúd.
- Zvyčajne sú tvorené zvaracím dynamom, ktoré je poháňané buď elektromotorom, najčastejšie trojfázovým asynchrónnym alebo spaľovacím motorom zážihovým alebo vznetrovým tam, kde nie je k dispozícii elektrická rozvodná sieť.



Rotačné zvaracie zdroje

- Zvaracie dynamo a motor tvoria dohromady jeden konštrukčný celok na spoločnom podvozku - zvarací agregát.
- Zvaracie dynamo má statickú charakteristiku strmú, dáva mäkký oblúk vhodný pre ručné zvaranie obalenou elektródou a tiež pre metódu WIG prípadne MIG / MAG.
- Regulácia zvaracieho prúdu v rámci regulačného rozsahu je plynulá a zaisťuje sa zmenou budenia magnetického poľa statora dynamu.
- Regulátor pre nastavovanie zvaracieho prúdu môže byť umiestnený buď priamo na zvaracom agregáte, alebo mimo neho pri diaľkovom ovládaní zvaracieho zdroja.
- Elektrický prúd sa vo zvaracom dynamu vyrába indukciou vo vodičoch kotvy (rotora), otáčajúcich sa v elektromagnetickom poli statorového vinutia.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 47.



Rotačné zvaracie zdroje

- Rotačné zvaracie zdroje nespĺňajú súčasné kritériá ekonomickej efektívnosti a požadovanej kvality zvarového spoja.
- Sú veľmi ťažké, ich hlučnosť prekračuje povolené limity, majú vysokú spotrebu elektrickej energie, ďalšou nevýhodou je, že ich mohutný ventilátor víri prach v okolí zvaracieho zdroja.
- U nás sa skôr vyrábali a používali rotačné zvaracie zdroje pod obchodným označením TRIODYN.



Zváracie transformátory

- Zvárací transformátor pre oblúkové zváranie je zdrojom väčšinou jednorazového striedavého prúdu.
- Každý transformátor sa skladá zo železného jadra (v tvare rámu, prstenca a pod.) tvoreného tenkými oceľovými plechmi (v chem. zloženie je 8% až 10% Si), primárnej a sekundárnej cievky, kde vinutie oboch cievok je z izolovaných Cu alebo Al vodičov (drôtov kruhového, štvorcového alebo obdĺžnikového prierezu).
- U zváracích transformátorov sa pripája primárne vinutie na sieť, sekundárne priamo do zváracieho obvodu. Striedavý prúd zo siete pretekajúci vinutím primárnej cievky indukuje striedavé elektromagnetické pole prechádzajúce prevažne železným jadrom (magnetickým obvodom) transformátora.



Zváracie transformátory

- V dôsledku toho vzniká na princípe elektromagnetickej indukcie vo vinutí sekundárnej cievky striedavé napätie, ktoré po zapálení oblúku vyvolá v uzavretom zváracom obvode vznik sekundárneho (zváracieho) prúdu.
- Regulácia zváracieho prúdu môže byť stupňovitá alebo plynulá.



Zváracie transformátory

- Statická zaťažovacia charakteristika je mierne klesajúca (polostrmá).
- Zváracie transformátory sú vhodné väčšinou pre ručné zváranie obalenými elektródami, prípadne tiež pre metódu WIG, u ktorej zvlášť k zlepšeniu stability horenia oblúka je používaný vysokofrekvenčný ionizátor ako zdroj vysokonapäťových impulzov zapojený buď paralelne, alebo sériovo v sekundárnom vinutí transformátora.
- V porovnaní s rotačnými zdrojmi zväracieho prúdu majú zváracie transformátory nízku spotrebu pri chode naprázdno, lepšiu účinnosť (85% až 97%), ale účinník je pomerne malý (0,5 až 0,7).
- Napájaciu trojfázovú elektrorozvodnú sieť zváracie transformátory zaťažujú nerovnomerne, pretože pri zváraní zaťažujú jednu alebo dve fázy podľa toho, či vstupné napájacie napätie je fázové (230 V 50 Hz) alebo združené (400 V 50 Hz).

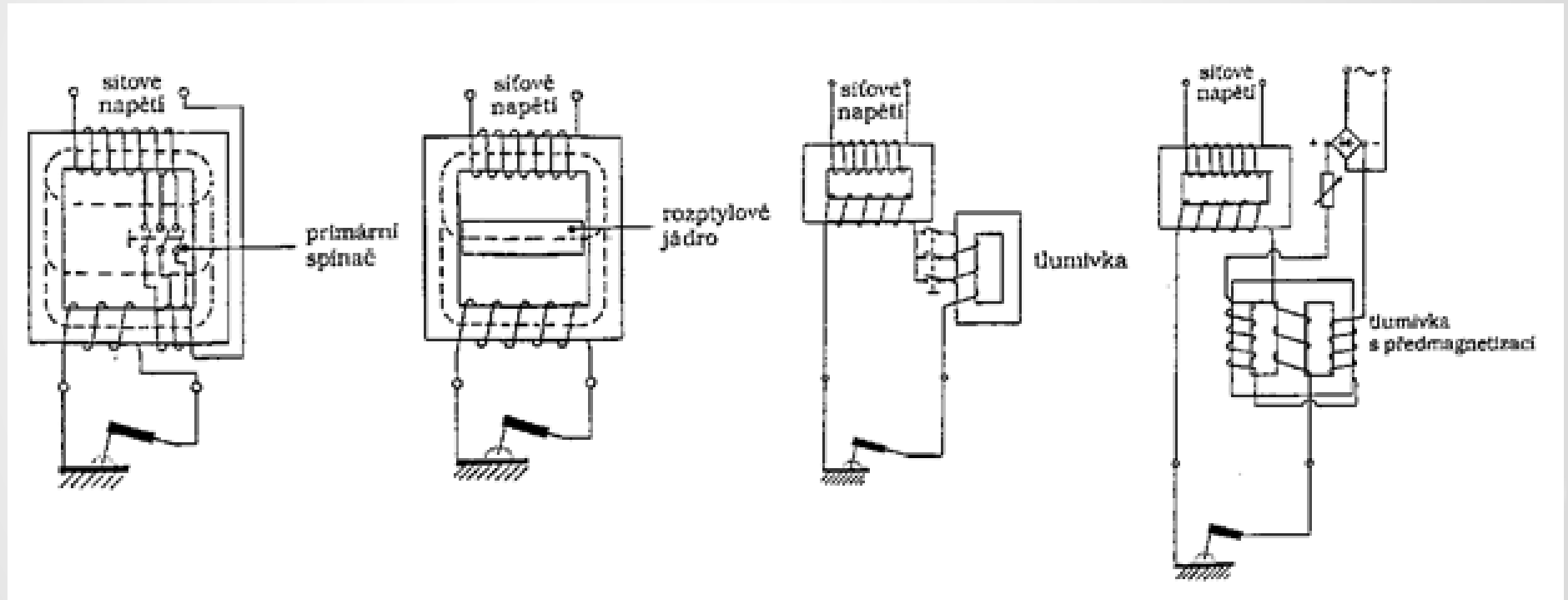


Regulácia zväracieho prúdu

- Regulácia zväracieho prúdu je závislá na konštrukčnom usporiadaní transformátora, vykonáva sa napr. :
 - Zmenou počtu závitov v primárnom vinutí
 - Zvärací prúd sa mení stupňovito (a v opačnom pomere napätie) na základe prepínačom realizovanej zmeny počtu závitov na primárnom vinutí a tým aj zmeny prevodu transformátora.
 - Posuvným alebo otočným rozptylovým jadrom
 - Zvärací prúd sa mení plynule podľa zmeny polohy jadra (umiestneného medzi primárnym a sekundárnym vinutím), ktorá určuje podiel magnetického toku uzavieraného jadrom k toku prechádzajúcemu vinutím sekundárnej cievky.
 - Regulačnou tlmivkou s prepínačom
 - Zvärací prúd (a tiež strmosť statických charakteristík) sa mení stupňovito podľa počtu prepínačom zapojených závitov vinutia tlmivky zapojené do série so sekundárnym vinutím transformátora. Pokiaľ má tlmivka malý počet závitov vinutia, statická charakteristika je polostrmá, Pri zvyšujúcom sa počte závitov sa stáva charakteristikou strmou.
 - Regulačnou tlmivkou s predpätím (Transduktory)
 - Zvärací prúd (a statická charakteristika) sa mení plynule zmenou reaktancie tlmivky v závislosti na zmene jednosmerné predmagnetizácie jadra tlmivky. Malá predmagnetizácia tlmivky znamená vysokú indukčnosť a reaktanciu tlmivky a tým aj nízky zvärací prúd, pri veľkej predpätím tlmivky je jej indukčnosť a reaktancia nízka a zvärací prúd vysoký.
 - Vzájomným posunom primárneho a sekundárneho vinutia proti sebe
 - Veľkosť zväracieho prúdu a sklon statickej charakteristiky ovplyvňuje stupňom tesnosti väzby na základe vzájomnej indukčnosti vinutia oboch cievok.



Zváracie transformátory



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 48.



Zváracie usmerňovače

- Zvárací usmerňovač je zdroj jednosmerného (usmerneného) prúdu.
- Skladá sa zo sieťového transformátora a príslušných usmerňovacích prvkov zapojených v sekundárnom obvode transformátora.
- Transformátor býva buď jednofázový, alebo trojfázový.
- Usmerňovacie prvky sú tvorené polovodičovými kremíkovými diódami alebo tyristormi použitými pri jednorázových zváracích zdrojoch v zapojení dvojcestného mostíkového usmerňovača (tzv. Graetzovo zapojenie) alebo pri trojfázových zváracích zdrojoch v zapojení šesťcestného mostíkového usmerňovača.
- Zvlnenie výstupného usmerneného napätia u jednorázového usmerňovača je relatívne veľké, frekvencia zvlnenia je dvojnásobkom sieťovej frekvencie.

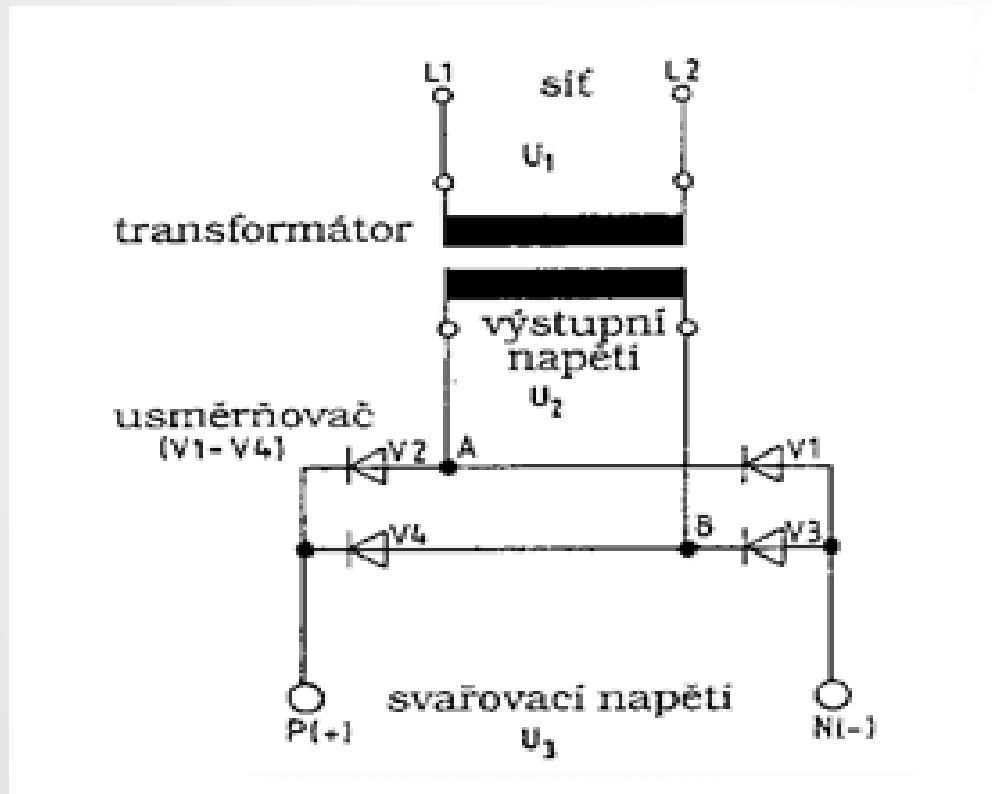


Zváracie usmerňovače

- U trojfázového usmerňovača je zvlnenie výstupného usmerneného napätia nižšia.
- Trojfázový zvárací usmerňovač je vhodný pre veľké prúdové zaťaženie, má dobré zváracie vlastnosti a v porovnaní s jednorazovým zváracím usmerňovačom elektrorozvodnú napájaciú sieť zaťažuje symetricky.
- Transformátor dáva možnosť pri zváraní využiť ako jednosmerný tak striedavý prúd.
- Zváracie usmerňovače v porovnaní s rotačnými zdrojmi zváracieho prúdu vykazujú menšie straty pri chode naprázdno, tzn. nižšiu spotrebu elektrickej energie, nehlučný chod, vyššiu účinnosť (v priemere cca 80%), relatívne menšiu hmotnosť a dobré zváracie vlastnosti. Zváracie usmerňovače majú veľmi dobré dynamické vlastnosti, to sa prejavuje najmä pri rýchlych zmenách napätia a prúdu.



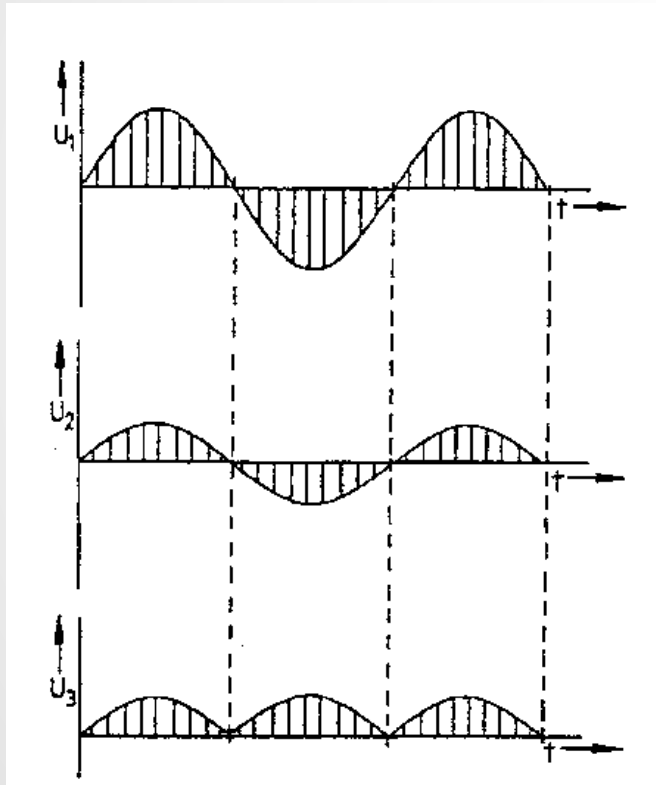
Jednofázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie zvarování a zařízení. Učebné texty pro kurzy zvarčích inženýrů a technológů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, sro, 2011. s. 49.



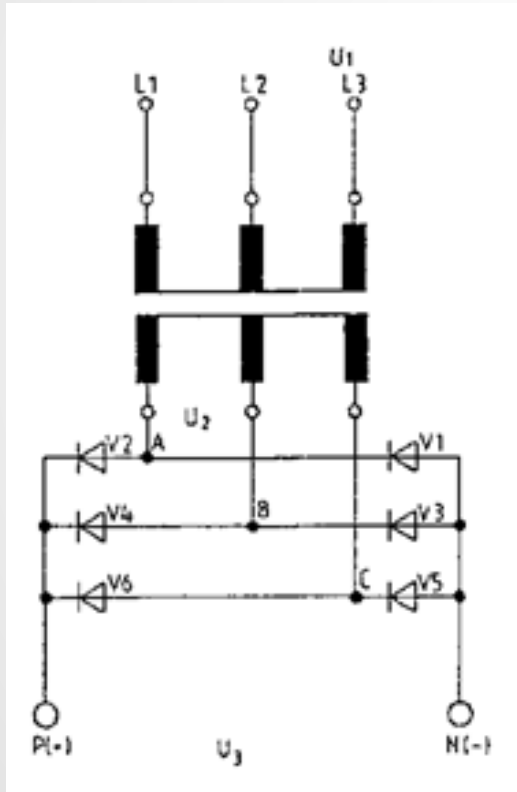
Jednofázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 49.



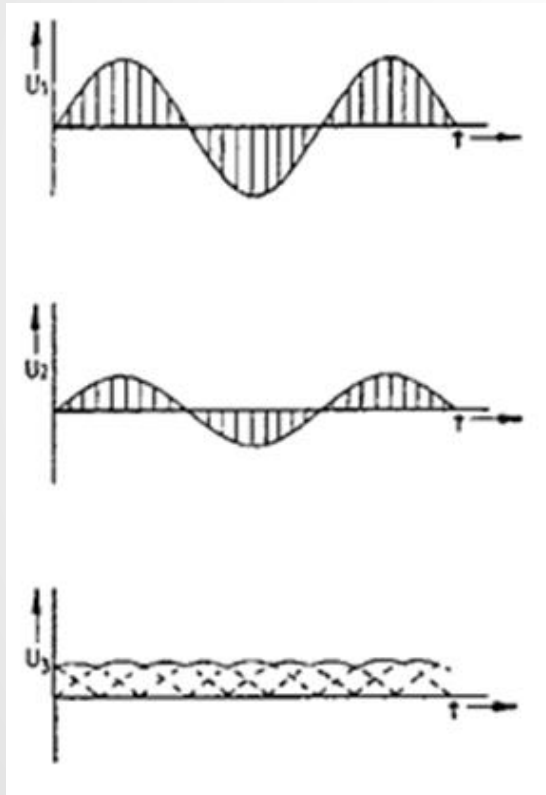
Trojfázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 49.



Trojfázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 49.



Jednofázový usmerňovač

- Regulácia zväracieho prúdu a nastavenie vhodnej zaťažovacej charakteristiky sa u zväracích usmerňovačov robí napr. prostredníctvom regulačnej tlmivky (transduktoru), tyristorového riadenia, analógového tranzistorového riadenia alebo taktovaného tranzistorového riadenia.



Zvárač s usmerňovačom s regulačnou tlmivkou

- Regulácia zváračieho prúdu a nastavenie zaťažovacej statickej charakteristiky je na rovnakom princípe ako u zváračieho zdroja, na základe zmeny reaktancie tlmivky (transduktora) jednosmernou predmagnetizáciou feromagnetického jadra.
- Za transduktormi sa prúd usmerňuje neriadenými usmerňovacími ventilmi - diódami. Táto regulácia sa používa u jednorazových i trojfázových zváračích usmerňovačoch.
- Možno dosiahnuť požadovanú statickú charakteristiku zváračieho zdroja, potrebnej pre rôzne spôsoby zvarovania od strmej zaťažovacej charakteristiky zdroja pre ručné zvarovanie obalenou elektródou a zvarovanie metódou WIG až po plochú zaťažovaciu charakteristiku zdroja napr. pre automatické zvarovanie technológiou MIG, MAG.
- Výhodou tohto zváračieho zdroja je relatívne jednoduchá konštrukcia, z toho dôvodu aj nízka poruchovosť a dobrá účinnosť (cca 80%).
- Nevýhodou sú pomerne veľké rozmery a hmotnosť, horšie dynamické vlastnosti a nepriaznivý účinník.

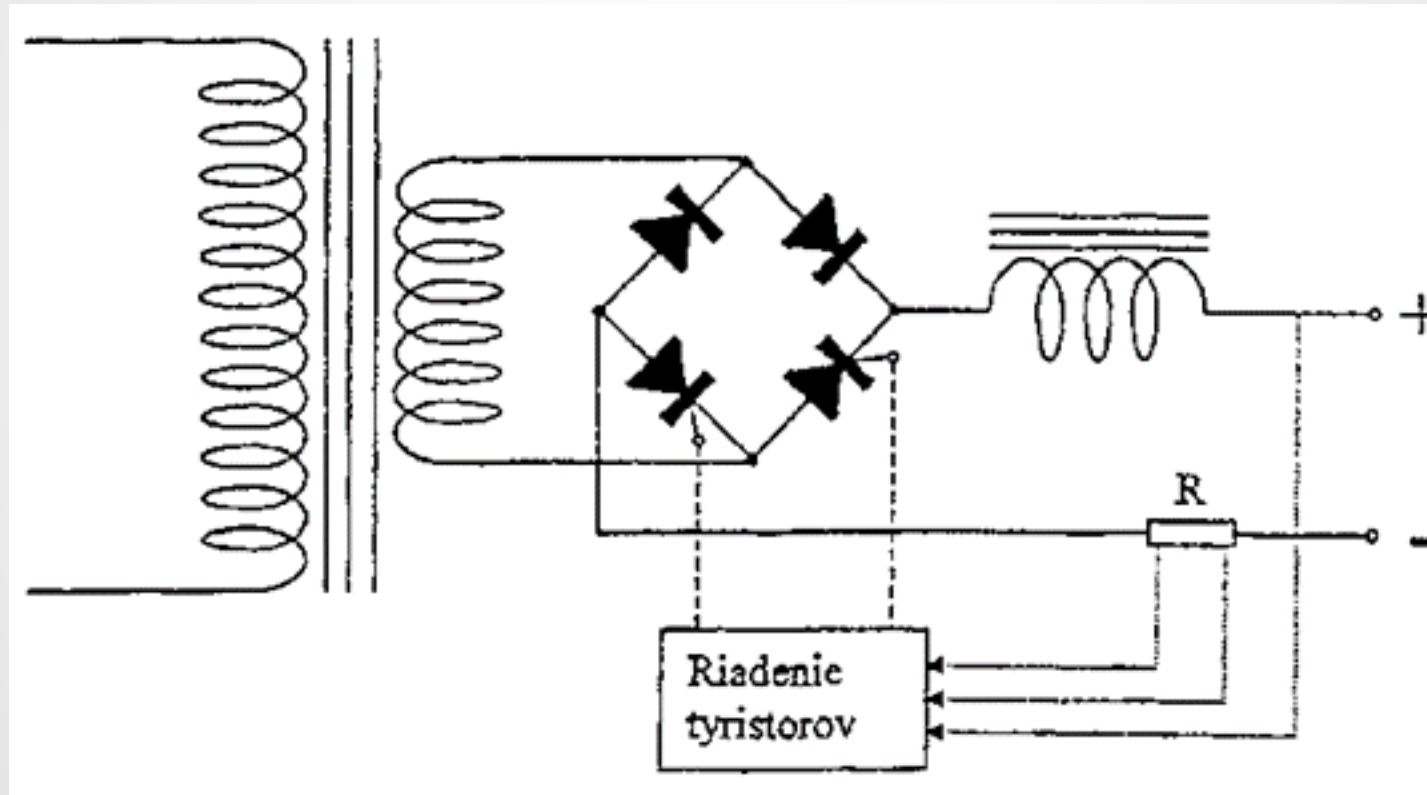


Zváračací usmerňovač s tyristorovým riadením

- Nastavenie intenzity zváračacieho prúdu sa vykonáva prostredníctvom fázovej regulácie pomocou tyristorov, kedy zváračací prúd je modulovaný sieťovým kmitočtom.
- Tyristory väčšinou v mostíkovom zapojení, nadväzujúce na sekundárnu stranu sieťového transformátora, majú funkciu riadených usmerňovacích ventilov.
- Okamih privedenia riadiacich impulzov na tyristor ovplyvňuje veľkosť prúdu respektíve výkonu prenášaného tyristorom.
- Tým je usmerňovaná len určitá časť prúdu, ktorý je ďalej vyhladzovaný tlmivkou.
- Zváračacie zdroje s tyristorovou reguláciou umožňujú realizovať impulzný proces s frekvenciou zodpovedajúcou frekvencii siete.
- Riadiaci elektronická jednotka regulátora tyristorov je doplnená spätnou väzbou, umožňuje programovanie parametrov zvárania a ich udržiavanie.
- Účinnosť týchto zváračacích zdrojov je veľmi dobrá (cca 80% až 90%).
- Dynamické vlastnosti sú trochu horšie vplyvom použitia relatívne veľkej vyhladzovacej tlmivky, čo sa prejavuje zvlášť pri skratovom oblúku.



Schéma riadenia tyristorov



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 50.



Zvárač s analógovým riadením

- Zostavu tohto zváračieho zdroja tvorí sieťový transformátor, usmerňovač s polovodičovými diódami v mostíkovom zapojení a vyhladzovacími kondenzátormi a analógovo riadený tranzistorový stupeň vo funkcii premenlivého elektrického odporu v obvode zváračieho prúdu.
- Spätnoväzobný regulátor zváračieho prúdu riadi plynulé otváranie a uzatváranie tranzistorového stupňa na základe kontinuálneho porovnávania nastavených a skutočných hodnôt napätia a prúdu počas zvarovania.
- Tento spôsob riadenia je veľmi efektívny vzhľadom na to, že polovodičové prvky na sekundárnej strane transformátora tzn. v tranzistorovom stupni, reagujú veľmi rýchlo na riadiace signály, a preto možno operatívne meniť výstupný výkon podľa potrieb zváračieho procesu.
- Vzhľadom k vysokej stabilite oblúka a zvarovaniu takmer bez rozstrekú sú tieto zváračie zdroje vhodné pre použitie v robotickom zvarovaní.
- Určitou nevýhodou zostáva relatívne vysoká hmotnosť a väčšie rozmery dané použitím sieťového transformátora.



Zvárač s digitálnym riadením na sekundári

- Konštrukcia tohto zváračieho zdroja je takisto tvorená vstupným sieťovým transformátorom, neriadeným usmerňovačom mostíkového typu a naň nadväzujúcim digitálne riadeným tranzistorovým stupňom vo funkcii polovodičového spínača v obvode zváračieho prúdu.
- Tranzistorový stupeň sa periodicky zapína a vypína v rytme taktovacej frekvencie (napr. 20 kHz).
- Toto periodické spínanie a vypínanie je označované ako "taktovanie".
- Veľkou výhodou spínacích tranzistorov je ich vysoká spínacia rýchlosť až do frekvencie cca 200 kHz.

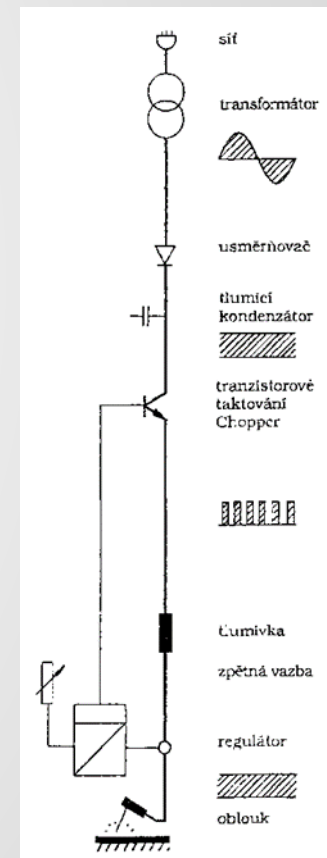
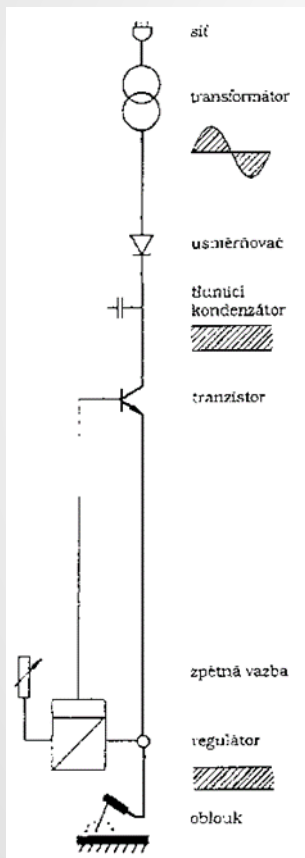


Zvárač s digitálnym riadením na sekundári

- Majú charakter zosilňovačov, úplne nepatrným elektrickým výkonom niekoľkých wattov ovládajú zvárač zdroj o výkone napr. 20 kW (500 ampér).
- Tlmivka za tranzistorovým stupňom zaisťuje akumuláciu energie a vyhladzovanie impulzného zváračieho prúdu.
- Spätnoväzobný regulátor privádza generované taktovacie pulzy na tranzistorový stupeň na základe porovnávania nastavených a skutočných parametrov napätia a prúdu.
- Výhody a nevýhody rovnaké ako u analógového riadenia.
- Pre zdroj s digitálnym riadením je charakteristický impulzný proces zváračania.



Schéma zváracieho usmerňovača s analógovým a digitálnym riadením



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 51.



Zváracie invertorové zdroje

- ▶ Invertorové zváracie zdroje sú primárne riadené zdroje s výkonovými tranzistormi, pracujú na princípe strednofrekvenčných meničov (striedačov) o frekvencii 20 kHz až 100 kHz a v súčasnej dobe sú najprogressívnejšou koncepciou moderných zváracích zdrojov.



Zváracie invertorové zdroje

- Základným znakom invertorových zdrojov je umiestnenie transformátora v energetickom reťazci až za spínacím tranzistorom.
- Dôvodom tohto usporiadania je závislosť hmotnosti a objemu transformátora od jeho pracovnej frekvencie.
- Čím vyššia frekvencia, tým menší objem a tiež hmotnosť. Preto majú tieto zdroje malú hmotnosť a malé rozmery, bez toho aby došlo k poklesu ich výkonnosti.
- Prúdová hmotnosť prakticky nepresahuje hodnotu 0,05 kg /A.
- Ďalšou prednosťou je vysoká hodnota elektrickej účinnosti (cca 90 %).
- Aby bolo možné využiť vysokú taktovaciu frekvenciu, je nutné striedavé sieťové napätie najprv usmerniť. Jednosmerné napätie, ktoré je k dispozícii za primárnym usmerňovačom, sa prostredníctvom tranzistorového spínača premení na vysokú frekvenciu.
- Výstupné napätie transformátora sa potom následne ešte usmerní.



Zváracie invertorové zdroje

- Srdcom celého zariadenia je riadiaca elektronická jednotka, ktorá reguluje vzájomnú súčinnosť funkčných blokov zváracieho zdroja s jednotkami podávania drôtu a dodávky ochranného plynu, kontroluje správnu činnosť zariadení, komunikuje s obsluhou prostredníctvom displeja pre nastavovanie a kontrolu parametrov, zároveň funguje ako knižnica programov.
- U väčších zariadení je riadiaci systém zváracieho zdroja vybavený aj výstupom pre periférne zariadenia zabezpečujúcim trvalý záznam priebežne sledovaných vybraných prevádzkových parametrov (tlačiareň, zapisovač, apod.) alebo pre komunikáciu s externým počítačom, prostredníctvom ktorého možno programovať špeciálne priebehy jednotlivých parametrov v závislosti na reálnom čase.



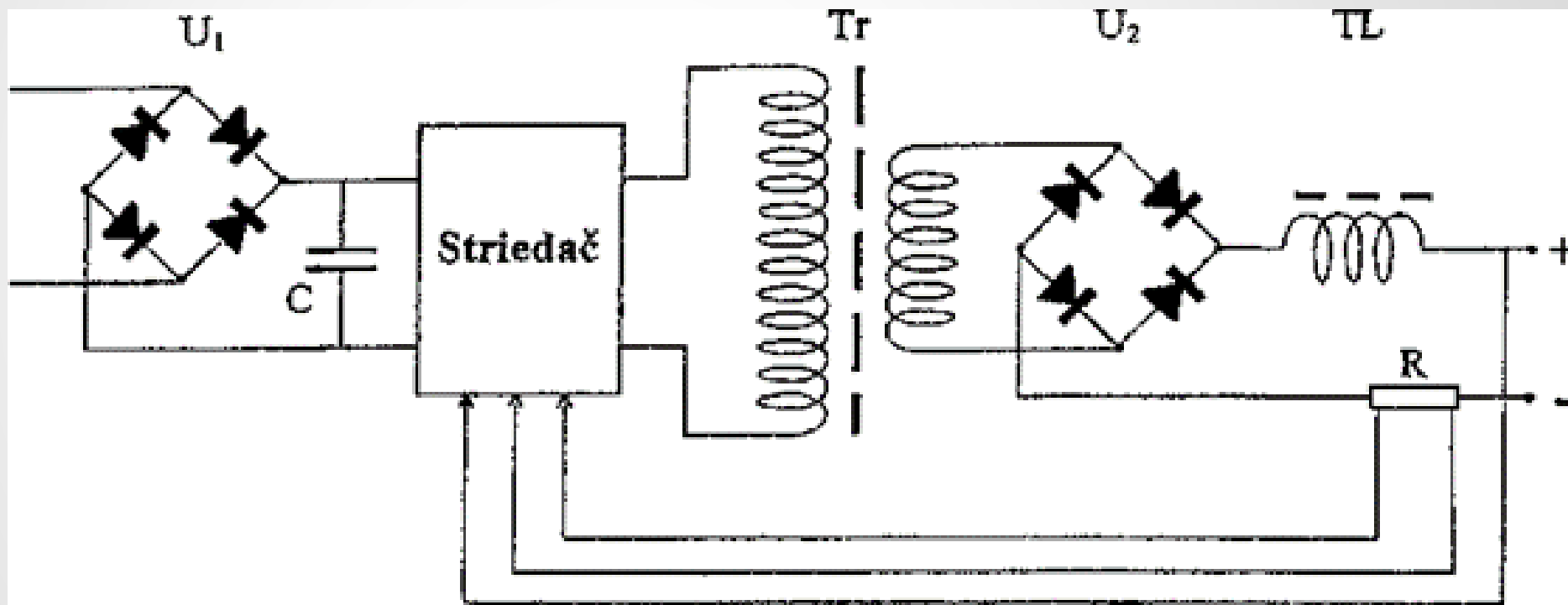
Konštrukcia invertorových zvaracích zdrojov dáva predpoklady pre:

- vysoký a stabilný zvarací výkon,
- optimálne rozlične nastaviteľné statické charakteristiky v režimoch MIG, MAG, WIG a MMA,
- jednoduchú a nenáročnú obsluhu,
- univerzálnosť použitia,
- možnosť výstupu pre počítačové spracovanie dát pri riadení a kontrole kvality,
- možnosť jednoduchej komunikácie s automatizovanými a robotizovanými pracoviskami,
- vysokú prevádzkovú spoľahlivosť, popr. jednoduchú detekciu chýb a ich rýchle odstránenie.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 52.



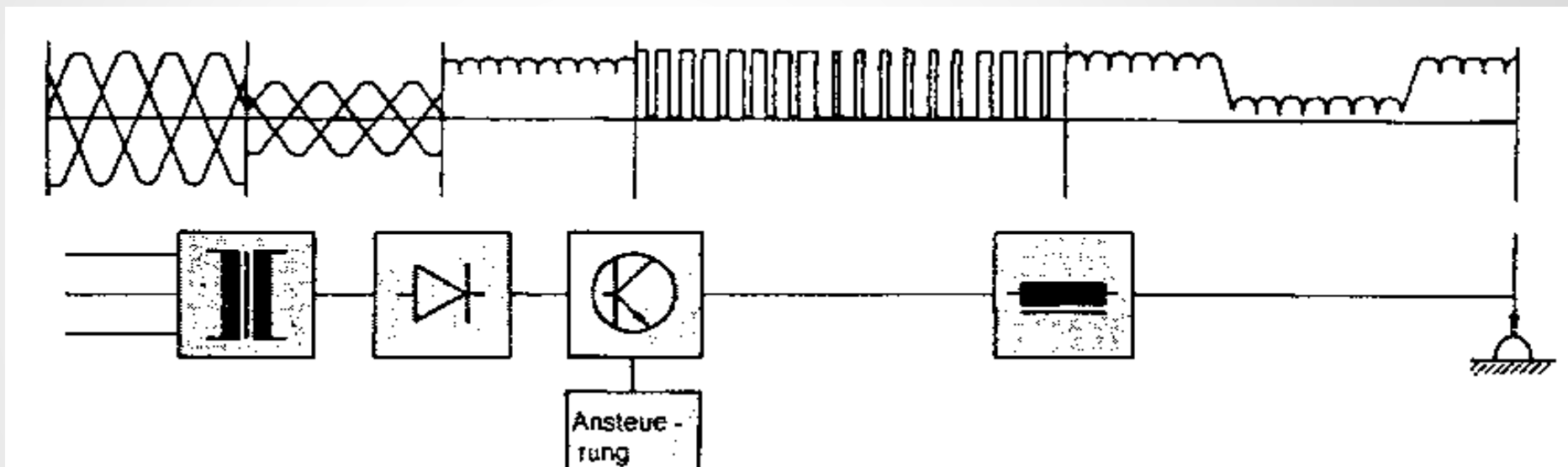
Schéma zapojenia invertorového zdroja



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 52.



Bloková schéma a priebehy prúdu inverterového zdroja



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 52.



Digitálny zvärací zdroj

- Riadiaca elektronická jednotka tohto zdroja je výsledkom pokroku vo vývoji zväracích zdrojov.
- Prináša plnú digitalizáciu ich systémov.
- Použitie digitálnych signálových procesorov zaisťuje vysokú operačnú rýchlosť, ktorá je nevyhnutná pre rýchle spracovanie dát.
- Tým sa otvárajú možnosti ovplyvňovania zväracieho procesu prostredníctvom softvéru
- Okrem toho sa zvyšuje presnosť a reprodukovateľnosť dosiahnutých výsledkov zvärania, pretože sa eliminujú analógové polovodičové súčiastky, zaťažené teplotným driftom.



Digitálny zvärací zdroj

- Komunikácia medzi zväracím zdrojom a perifériami (podávač drôtu, diaľkový regulátor, atď.) sa uskutočňuje prostredníctvom dátovej zbernice centrálného mikropočítača.
- Všetky informácie obojsmerne prenášané umožňujú odčítať prípadne meniť prevádzkové dáta alebo nastavenie parametrov nielen na vlastnom zdroji, ale tiež na podávači drôtu alebo priamo na horáku.
- Riadiaci mikropočítač spracováva dáta s najvyššou presnosťou a starostlivo kontroluje kritické zväracie parametre.
- Pri zváraní prebehne až 10 000 riadiacich a regulačných krokov za sekundu, keď sa porovnávajú skutočné zväracie parametre so zadanými a v prípade odchýlky sú okamžite korigované podľa zadaných hodnôt.
- Súčasne je kontrolované sieťové napätie, prúd plynu, posuv zväracieho drôtu a ďalšie podstatné funkcie zariadenia.



Zváranie impulzným prúdom

- Zváranie impulzným prúdom je založené na vhodnej modulácii výstupného prúdu zváracieho zdroja, kedy amplitúda prúdu sa v rámci danej periódy mení z hladiny základného prúdu (nižšia hodnota) na hladinu impulzného prúdu (vyššia hodnota), pričom taktovacia frekvencia impulzov je buď odvodená od sieťového kmitočtu (násobok kmitočtu 50 Hz) alebo je generovaná nezávisle na sieťovom kmitočte.
- Pomer impulzného prúdu k prúdu základnému môže byť menený stupňovito prípadne plynule a rovnako tak môže byť menený pomer šírky impulzu k šírke medzery danej periódy prúdu.
- Zmena prúdu zo základného na impulzný a späť môže byť realizovaná skokom (obdĺžnikový priebeh impulzného prúdu) alebo s určitou strmosťou nábehovej hrany prípadne zostupnej hrany impulzu prúdu (lichobežníkový priebeh impulzného prúdu).



Zváranie impulzným prúdom

- Aby bolo možné u regulovaných zdrojov ľubovoľne nastavovať zvärací výkon vo veľkom rozsahu, je nutné meniť pomer doby zapnutia (šírka impulzu) k dobe vypnutia (šírka medzery).
- Táto metóda sa označuje ako pulzná šírková modulácia.
- Potrebný tvar a priebeh pulzu je tiež ovplyvnený pomerom amplitúdy pulzného a základného prúdu.
- Pri frekvencii pulzov v rozsahu napr. 1 Hz až 1000 Hz existuje pre každý materiál zodpovedajúci tvar pulzu.



Zváranie impulzným prúdom

- Impulzným oblúkom sa zaisťuje optimálne nastavenie všetkých parametrov, (automatické alebo manuálne) bezskratový prenos materiálu s minimálnou úrovňou rozstreku.
- Do tavného kúpeľa odkvapká z drôtovej elektródy na každý impulz jedna kvapka prídavného materiálu.
- Impulzná technika umožňuje nastaviť v celom výkonovom rozsahu konštantnú veľkosť kvapiek a rýchlosť ich odtavovania.
- Tým možno presne definovať rýchlosť procesu aj kvalitu vykonaných zvarov a samozrejme aj tepelnú energiu vnesenú do materiálu.



Ovládanie jedným parametrom - Synergický režim zvárania

- Ideálny priebeh celého zváracieho procesu, od približovacej fázy pred zapálením oblúka až po fázu zhasnutia oblúku a súčasnom odtavení poslednej kvapky drôtu, je dosiahnuteľný iba pomocou veľkého počtu plynule nastaviteľných parametrov.
- Nastavovanie tak veľkého množstva parametrov by obsluhu zváracieho zdroja veľmi komplikovalo.
- S pomocou tzv. "synergického režimu" (ovládanie jedným parametrom napr. rýchlosťou podávania prídavného materiálu), kde sú predprogramované parametre pre ľubovoľnú kombináciu drôt/plyn, môže užívateľ ovládať celé zariadenie úplne jednoduchým spôsobom.
- Úloha optimalizácie parametrov pre celý rad základných aj prídavných materiálov a ochranných plynov tu preberá výrobca zváracieho zariadenia.



Ovládanie jedným parametrom - Synergický režim zvárania

- ▶ Tieto poznatky sú uložené vo forme databanky (tzv. knižnice programov) v elektronickej pamäťovej jednotke.
- ▶ Užívateľ nastaví priamo na zváracom zdroji iba priemer drôtu, druh ochranného plynu a druh materiálu a vstavaný mikroprocesor sa už postará o plynulé nastavenie výkonu v celom rozsahu.
- ▶ Tým je zabezpečené dosiahnutie vysokej kvality vykonávaných zvarov, produktivity a rýchlosti procesu pri výraznom zjednodušení obsluhy a ovládania.
- ▶ Chybná obsluha je tu prakticky vylúčená.
- ▶ Vďaka možnosti počítačového spracovania výsledkov zváracieho procesu je daná aj možnosť sledovania a kontroly zváracích parametrov.



Ovládanie jedným parametrom - Synergický režim zvárania

- Riadiaci systém zváracieho zdroja umožňuje navyše užívateľovi vytvoriť a nastaviť svoje optimálne parametre pre akýkoľvek prípad zvárania, uložiť ich do pamäti a v prípade potreby takto vytvorený vlastný program jednoduchým spôsobom (stlačením tlačidla) opätovne vyvolať.
- Okrem toho si v niektorých prípadoch môže zvárač počas zváracieho procesu podľa okamžitej potreby prostredníctvom ovládača na rukoväti horáku plynule regulovať prúd (upravovať oblúk) a tým meniť zvárací výkon napr. v rozsahu až o $\pm 50\%$ od hodnoty nastavenej aktuálnym zváracím programom.



Dialkové ovládanie

- Moderné elektronické systémy zväracích zdrojov umožňujú ovládať zdroj pri zväracím procese dialkovo (napr. pri automatizovaných a robotizovaných aplikáciách), kontrolovať a evidovať reálne parametre jednotlivých zvarov (s možnosťou archivácie aj výtlačkov priebehov jednotlivých parametrov) aj programovať špeciálne priebehy jednotlivých parametrov v závislosti na reálnom čase .
- Klasické dialkové ovládače pre ručné alebo nožné ovládanie v samostatnom zakrytovaní sú prepojené s vlastným zväracím zdrojom káble ľubovoľných dĺžok.
- V niektorých prípadoch pre zvýšenie komfortu práce zvärača je dialkový ovládač zabudovaný do rukoväte horáka s možnosťou vyvolávať všetky dôležité parametre, nastavovať ich a priebežne ich sledovať na displeji ovládača.



Príslušenstvo zváracích zdrojov

- Štartovacie zariadenie
- Pripojenie zdroja k elektrorozvodnej sieti
- Zváracie káble
- Držiaky elektród
- Zváracie zvierky



Štartovacie zariadenie

- V niektorých prípadoch je vhodné realizovať zapálenie elektrického oblúka bez dotyku elektródy so základným materiálom.
- Napr. zapáľovanie oblúka dotykcom u technológie WIG môže spôsobiť nalegovanie zváraného kovu materiálom volfrámovej elektródy.
- Taktiež pri zváraní striedavým prúdom je žiaduce podporiť opätovný vznik oblúka pri zmene polarít.
- Toto je možné zaistiť takým spôsobom, že na potrebný čas sa zvýši napätie medzi elektródou a zvarencom na tak vysokú hodnotu, aby v plyne nachádzajúcom sa medzi elektródou a zvarencom nastala lavínová ionizácia.
- Taký proces štartu zabezpečuje ionizátor, ktorý za normálnych podmienok musí poskytnúť napäťové impulzy s amplitúdou niekoľko tisíc voltov prevyšujúcu elektrickú pevnosť prostredia medzi elektródami.
- Štartovací ionizátor musí byť po zapálení oblúka elektronicky odpojený.
- Ionizátor podporujúci zváranie striedavým prúdom je zapojený trvalo.



Pripojenie zdroja k elektrorozvodnej sieti

- Každý zvärací zdroj je z pohľadu všeobecnej elektrotechniky elektrickým strojom.
- Preto musia všetky časti jeho konštrukcie spĺňať požiadavky príslušných elektrotechnických noriem a predpisov, jednak technických, ale predovšetkým bezpečnostných.
- K elektrorozvodnej sieti jednorázového napätia (230 V 50 Hz) alebo trojfázového napätia (3 x 230/400 V 50 Hz) sa zväracie zdroje pripájajú zvyčajne pohyblivým prívodom zakončeným príslušnou vidlicou pre zasunutie do zásuvky pevného rozvodu elektrickej energie.



Pripojenie zdroja k elektrorozvodnej sieti

- ▶ V niektorých výnimočných prípadoch veľkých zväracích zdrojov, ktoré sú trvalo a nepohyblivo umiestnené na jednom mieste v rámci zväračského pracoviska, môžu tieto byť k rozvodu elektrickej energie pripojené pevným prívodom.
- ▶ Pohyblivý aj pevný prívod musí byť správne dimenzovaný (ako po stránke elektrickej, tak i mechanickej) podľa maximálneho príkonu zdroja.
- ▶ Pevný rozvod elektrickej energie v porovnaní s pohyblivým resp. pevným prívodom musí mať rovnaký alebo väčší prierez jadier vodičov a musí byť istený ističom príslušnej veľkosti s pomalou vypínacou charakteristikou.



Pripojenie zdroja k elektrorozvodnej sieti

- Zvárací zdroj je väčšinou posudzovaný podľa elektrotechnických noriem ako elektrický predmet triedy I, a preto musia mať ochranné svorky na pripojenie ochranného vodiča, ktorým je pohyblivý alebo pevný prívod opatrený.
- Ochrana obsluhy pred nebezpečným dotykom so živými časťami zdroja (časťami vedúcimi prúd) je zaistená krytím, izoláciou a doplnkovú izoláciou (pri použití ochranných pomôcok) v zmysle príslušných noriem.
- Stupeň krytia u zvaracieho zdroja býva väčšinou IP 21 až IP 23.
- Ochrana obsluhy pri dotyku s neživými časťami je ochrana kostier a krytov a nosných kovových konštrukcií.
- Uplatňuje sa až pri poruche pracovnej izolácie a väčšinou je zaistená ako ochrana nulovaním alebo ochrana napäťovým prípadne prúdovým chráničom.
- Predtým často používaná ochrana uzemnením sa dnes používa celkom výnimočne.



Zváracie káble

- Zváracie káble sú jednožilové vodiče so zloženými jadrami a s gumovou izoláciou, privádzajúce zvárací prúd zo zváracieho zdroja k držiaku elektródy alebo ku zváraciemu horáku (pištoľ) a tiež ku zváracej zvierke pripevnenej na zváranom materiáli pre uzatvorenie prúdového okruhu (obvodu) zdroja.
- Prierez jadier sa dimenzuje podľa maximálneho zváracieho prúdu.
- Maximálna povolená dĺžka zváracieho vodiča sa určí tak, aby úbytok napätia pri menovitom zaťažení neprekročil hodnotu 2 V.
- Ak je nutné použiť dlhší zvárací vodič než je uvedená medzná dĺžka, zvolí sa jeho prierez o stupeň vyšší.



Zváracie káble





Pripojenie zváracích káblov





Držiaky elektród

- ▶ Držiak elektród slúži na upnutie elektródy pri zvaraní.
- ▶ Základné požiadavky na ne sú predovšetkým malá hmotnosť, bezpečnosť, dobrá ovládateľnosť na výmenu elektródy a zvaranie v polohách.
- ▶ Držiaky elektród na ručné oblúkové zvaranie sú normované v ČSN 05 2250 alebo v STN EN 60 974-11.
- ▶ Veľkosť zvaracích držiakov sa riadi podľa veľkosti upínacích čelustí a prúdovým zaťažením.



Zvárací držiak bez elektródy





Nasadzovanie elektródy do zváracieho držiaka





Zváracie zvierky

- Slúžia spolu s káblami pre privedenie druhej polarizácie od zvaracieho zdroja na zvaraný materiál.
- Zvierky je nutné pevne upnúť, aby bol čo najmenší prechodový odpor.
- Svorku umiestňujeme čo možno najbližšie k miestu zvarania.
- Zvierky majú rôznu veľkosť podľa veľkosti zvaracieho prúdu.



Zváračia svorka





Otázky na zamyslenie

1. Aké sú požiadavky na zväracie zdroje?
2. Aké je rozdelenie zväracích zdrojov podľa spôsobu premeny energie?
3. Aké je rozdelenie zväracích zdrojov podľa druhu dodávaného prúdu?
4. Akými spôsobmi je možné zapáliť elektrický oblúk?
5. Čo udáva dynamická charakteristika zväracieho zdroja?
6. Popíšte statickú charakteristiku.
7. Aké sú vstupné a výstupné parametre zväracích zdrojov?
8. Charakterizujte rotačné zväracie zdroje.
9. Charakterizujte zvärací transformátor.
10. Čo to je synergický režim zvárania?
11. Charakterizujte zväracie káble a ich príslušenstvo.



Doporučená literatura a informačné zdroje

- ▶ AMBROŽ, O. A KOL. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- ▶ BERNASOVÁ, E. A KOL. Svařování. Praha: SNTL, 1987. ISBN 04-221-88.
- ▶ KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011, 242 s.