

Točkasto zavarivanje baterija

Abjanović, Fabijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:575742>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Preddiplomski sveučilišni studij

Točkasto zavarivanje baterija

Završni rad

Fabijan Abjanović

Osijek, 2021.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Povijesni osvrt elektrootpornog točkastog zavarivanja	2
3. Općenito o elektrootpornom točkastom zavarivanju	3
3.1. Definicija.....	3
3.2. Zavarivanje u odnosu na lemnjenje i ostale pomoćne tehnike	3
3.3. Postupak elektrootpornog točkastog zavarivanja.....	4
3.4. Izvor napajanja.....	4
3.5. Materijal elektrode	5
3.6. Kvaliteta spoja	5
3.7. Utjecaj različitih parametara na spoj.....	6
3.8. Prednosti elektrootpornog točkastog zavarivanja	6
3.9. Nedostaci elektrootpornog točkastog zavarivanja	6
4. Baterije.....	7
4.1. Općenito o baterijama	7
4.2. Povijesni osvrt na prvu bateriju	8
4.3. Litij-ion baterije	8
4.4. Elektrootporno točkasto zavarivanje spojnih kontakata baterija	9
4.5. Korišteni materijali za spojne trake	10
5. Ekonomska analiza elektrootpornog točkastog zavarivanja	12
6. Automatizacija	14
7. Praktični primjer točkastog zavarivanja baterija.....	15
7.1. Aparat Sunkko 709AD.....	15
7.2. Analiza i utjecaj parametara na kvalitetu spoja	17
7.3. Usporedba spojeva točkastog zavara pri različitim parametrima	18
7.4. Ispitivanje kvalitete spojeva.....	20
7.5. Izrada serijskog baterijskog spoja od 12V za Hasta TT 12/600 bušilicu.....	21

8. Zaključak.....	24
9. Literatura.....	25
10. Životopis	27

1. Uvod

Kako bi detaljnije analizirali i prikazali elektrootporno točkasto zavarivanje, najprije se treba osvrnuti na povijesni aspekt nastanka zavarivanja koja je započela vrlo rano te primjenu istog u automobilske industriji kao jedno od najstarijih i najprostranjenijih korištenih metoda. Objasnjeno je sve vezano uz elektrootporno točkasto zavarivanje, počevši od definicije, postupka, te izvora napajanja preko potrebnih materijala elektroda i utjecaja različitih parametara na kvalitetu spoja pa sve do prednosti i nedostataka. Zatim se nadovezuju baterije koje prije svega djeluju kao prijenosni izvor električne energije. Ujedno, treba spomenuti elektrootporno točkasto zavarivanje malih razmjera kao često poželjna metoda spajanja Litij-ion baterija u baterijske pakete, prilikom kojeg treba koristiti potrebne metalne trakice. U vidu troškova elektrootpornog točkastog zavarivanja navodimo izvor napajanja te elektrode za zavarivanje što u odnosu na druge alternativne metode zavarivanja, točkasto zavarivanje stavlja u bolji položaj. Međutim automatizacija pokazuje nekoliko povlastica u vidu troškova te elektrootporno točkasto zavarivanje kao prilagodljiva metoda omogućuje velik protok proizvoda što je povoljno u većini industrija.

Primjenom elektrootpornog točkastog zavarivanja na praktičnom primjeru treba obuhvatiti razna ispitivanja i analize, ali najprije se trebalo upoznati s opremom. Oprema za točkasto zavarivanja sastoji se od aparata Sunkko 709 AD, vanjske ručke za točkasto zavarivanje, nožnog prekidača te zaštitnih naočala. Odmah nakon upoznavanja sa navedenom opremom, uslijedila je analiza i ispitivanje utjecaja različitih parametara na kvalitetu spoja te usporedba spojeva napravljenih točkastim zavarivanjem koristeći različite parametre. Napokon, na praktičnom primjeru izrađen je serijski baterijski spoj od 12V namjenjenog za napajanje Hasta TT 12/600 bušilice, koji se sastoji od kvalitetnih i čvrstih spojeva, odabranih na temelju dobivenih rezultata ispitivanja.

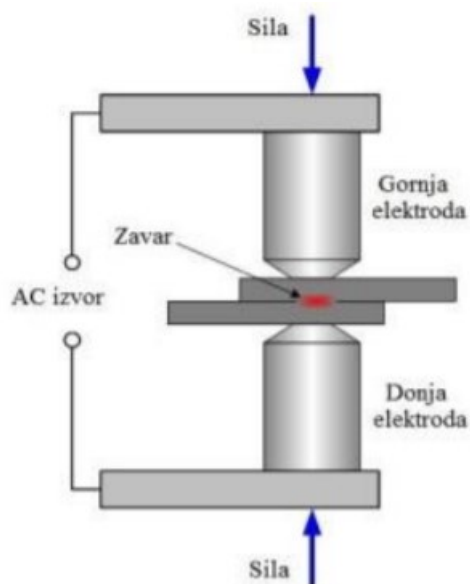
2. Povijesni osvrt elektrootpornog točkastog zavarivanja

Povijest zavarivanja je započela dosta rano. Još prije četiri tisuće godina nove ere, Sumerani su zavarivali metale. Proteklo je dosta vremena prije nego se postigao sljedeći veliki korak na području tehnologije zavarivanja. Tijekom razdoblja između 1880. i 1887. godine uslijedio je najveći napredak, tada je Rus Nikolaj Nikolajewitsch Bernados razvio postupak elektrolučnog zavarivanja. Prvi put je uspio spoiti dva metalna dijela uz pomoć električnog luka, [1]. Ipak, postupak elektrootpornog zavarivanja dugujemo Elihu Thompsonu koji je 1877. godine [2] kao izvor struje isprva koristio baterije, [3]. Naime, elektrootporno točkasto zavarivanje jedno je od najstarijih i najprostranjenijih korištenih metoda zavarivanja u automobilskoj industriji, [2]. Jedna od najvećih i tehnološki najzahtjevnijih proizvodnih grana je automobilska industrija. Proizvodnja važnih dijelova automobila (osovine, dijelovi podnožja, karoserije) ovise o masovnoj primjeni metoda povezivanja metala, u koje spada i zavarivanje. Prilikom proizvodnje automobila, metode spajanja i zavarivanja određene su s obzirom na zahtjeve prema razini sigurnosti, potrošnji goriva i dinamici vožnje. Očekuje se da će elektrootporno točkasto zavarivanje kao najučestalija metoda zavarivanja u autoindustriji i dalje zadržati u narednim godinama, pogotovo u velikoserijskoj proizvodnji. Prilikom odabira prikladnog postupka zavarivanja, postizanje pouzdanih i pravilnih zavara najvažniji je kriterij. Također ekonomija i proizvodnost su odlučujući elementi prilikom alternativnog odabira koje inače postižu usporedivo tehničko rješenje, [3].

3. Općenito o elektrootpornom točkastom zavarivanju

3.1. Definicija

Elektrootporno točkasto zavarivanje temelji se na zagrijavanju metala otporom pri prolasku električne struje do pojave stanja lokalnog omekšanja i, uz to, na djelovanju pritiska elektroda na mjestu spajanja. Metal se zagrijava toplinom koja nastaje zbog povećanog otpora prolasku električne struje prvenstveno na dodirnim mjestima dvaju komada metala, [4].



Slika 3.1.1. Prikaz elektrootpornog točkastog zavarivanja [3]

Elektrootporno zavarivanje pripada skupini procesa zavarivanja u kojima otpor pri prolasku električne struje kroz metale koji se zavaruju generira toplinu zavarivanja. Proviđa se bez korištenja dodatnih materijala, a zavareni spoj nastaje uz pomoć djelovanja sile određenog iznosa elektrode, [5].

Elektrootporno točkasto zavarivanje ima frekvenciju zavarivanja do jednog spoja u sekundi, ovisno o materijalu i debljini materijala. To se određuje prema kretanju ćelijskog modula ili glava za zavarivanje, na što pak utječe duljina kabela za zavarivanje. Zbog otpora materijala koji se linearno povećava s duljinom i zbog toga što se mora provoditi dovoljno velik napon, napon ograničava duljinu kabela za zavarivanje, [2].

3.2. Zavarivanje u odnosu na lemljenje i ostale pomoćne tehnike

Lemljenje je postupak spajanja pri kojem ne dolazi do topljenja rubova dijelova koji se spajaju i u kojem dodatni materijal nije isti ili sličan metalu dijelova koji se spajaju. Razlika

između zavarivanja i lemljenja je u tome što pri zavarivanju dijelovi koji se spajaju svojim materijalom sudjeluju u stvaranju spoja, a pri lemljenju spoj se stvara dodavanjem dodatnog materijala koji se razlikuje od osnovnog materijala, u jednom vrlo tankom sloju u kojem se vrši difuzno spajanje ova dva materijala. Geometrijski oblik spojeva je drukčiji, [6].

3.3. Postupak elektrootpornog točkastog zavarivanja

Elektrootporno točkasto zavarivanje je tehnika pri kojoj se 2 ili više tankih metala zavaruju međusobno primjenom električne struje i tlaka između dvije elektrode. Električni otpor materijala na dodirnim mjestima rezultira stvaranjem topline i zavaruje materijale bez upotrebe punila ili plinova, [2].

Ova metoda točkastog zavarivanja obično koristi dvostruki puls. Prvi puls zagrijava i uklanja oksidaciju metala, a drugi puls zavaruje metale. Temperatura na dodirnom području raste i na kraju doseže točku topljenja materijala. Nakon hlađenja na tom području se stvara komad zavara. To je mali volumen od metala koji su se rastopili i zatim spojili, [2].

3.4. Izvor napajanja

Prilikom zavarivanja koriste se odgovarajući izvori energije, odnosno izvori struje za zavarivanje, koji zajedno s kabelima, osnovnim metalom, elektrodama, dodatnim materijalom, i dr. čine jednu vrstu tehnološkog sustava u kojemu dolazi do transformacije električne u toplinsku energiju. Kod toga, električna se energija iz strujne mreže ne može izravno koristiti za zavarivanje već se zbog čitavog niza posebnosti struje zavarivanja i uvjeta rada moraju koristiti posebno konstruirani izvori struje za zavarivanje, [4].

Izmjenična struja niskog napona, vrlo velike jakosti do više tisuća ampera i kratkog trajanja, (npr. nekoliko tisućinki sekunde) [4] se najčešće koristi kao izvor napajanja kod elektrootpornog točkastog zavarivanja koja se, pomoću invertera, pretvara i koristi kao istosmjerna struja. Inverter funkcionira ispravljanjem izmjenične struje, filtriranjem, pretvaranjem u struju kvadratnog vala, pojačavanjem i inveriranjem negativnih impulsa. Dakle, rezultira samo pozitivnom istosmjernom snagom. Inverter povećava učinkovitost stroja i izlaznu snagu. Korištenjem invertera kvaliteta zavarenog spoja raste što u konačnici daje niže troškove. Sposobnost generiranja istosmjerne struje pomoću invertera rezultirala je da ih gotovo svi proizvođači i distributeri opreme elektrootpornog točkastog zavarivanja uključuju u svoje proizvode, [2].

3.5. Materijal elektrode

Električne performanse elektrootpornog točkastog zavarivanja i izbor legure elektrode određuju se materijalom koji se zavaruje i željenim učinkom zavarivanja. Korištene elektrode moraju imati električnu i toplinsku vodljivost veću od one zavarenog materijala kako se elektroda ne bi previše zagrijala. Stoga elektrootporno točkasto zavarivanje nije pogodno za zavarivanje visoko vodljivih materijala. Prema *Resistance Welding Manufacturers Association* postoje tri glavne skupine vrsta materijala. Prva grupa su legure na bazi bakra, druga grupa su vatrostalni metali i kompoziti vatrostalnih metala, treća grupa su specijalni materijali kao što je bakar ojačan disperzijom. Najčešće korišteni materijal elektroda su legure na bazi bakra, [2].

3.6. Kvaliteta spoja

Kvalitetu lošeg zavara uključuje slabo prianjanje i lošu vodljivost, što je često posljedica premalog zavarenog spoja. Rješenje bi tada trebalo biti povećanje veličine zavara, međutim elektrootporno točkasto zavarivanje ima poteškoća u stvaranju relativno velikih spojeva, a tipična veličina spoja varira između 0,9 i 2,0 mm. Veličina spoja ovisi o promjeru elektrode, vršnom vremenu i vršnoj struji. Ako je provodna struja preniska ili se provodi prekratko, generirana toplina neće biti dovoljna za topljenje metala i njihovo spajanje. Suprotno tome, može doći do pregrijavanja materijala ako se tijekom dugog vršnog vremena primjenjuje previsoka struja. Adekvatni spojevi mogu se postići uravnoteženjem vršnog vremena i vršne struje, ali spoj će i dalje biti relativno slab, [2].

Kvaliteta zavarenih spojeva generiranih elektrootpornim točkastim zavarivanjem može postići visoku pouzdanost robotskom automatizacijom. U međuvremenu kvalitetu zavarenih spojeva koji su nastali elektrootpornim točkastim zavarivanjem često je teško istražiti zbog toga što je mjesto zavarenog spoja između dva metala, a kvaliteta zavarenog spoja može varirati zbog varijabilnosti i pogrešaka koje mogu nastati. Međutim, mogu se pratiti parametri procesa kao što su napon, struja, dinamički otpor i temperatura metala. Praćenje ovih parametara omogućuje uvid u kvalitetu spoja putem usporedbe s poznatim zavarenim spojevima. Za koje je utvrđeno da je to lakše učiniti u laboratorijskim okruženjima u usporedbi s industrijskom proizvodnjom. Iako su nedavni pomaci u tehnologiji senzora koji se koriste u industriji doveli do boljeg nadzora i dosljedne kvalitete zavarivanja, s trendovima koji ukazuju na daljnji razvoj, [2].

3.7. Utjecaj različitih parametara na spoj

Tri primarna parametra postupka točkastog zavarivanja koja se mijenjaju su vrijeme zavarivanja, struja zavarivanja i sila elektrode. Vrijeme zavarivanja tijekom elektrootpornog točkastog zavarivanja je vrlo kratko, varira između mikro i milisekundi. Prekratko vrijeme zavarivanja ili niska sila elektrode mogu osigurati nedovoljan površinski kontakt i dovesti do lošeg zavarivanja. S druge strane, predugo vrijeme zavarivanja ili prekomjerna sila elektrode mogu svoriti previše topline i deformirati uzorak. To bi moglo rezultirati metalnim plamenom koji oštećuje vrhove elektroda i ostavlja trag opekline između dodirnih mjesta. Da bi se postigli najbolji rezultati zavarivanja, dobra je praksa započeti s najkraćim vremenom zavarivanja, a zatim povećavati u koracima. Primjenjena struja potrebna za zavarivanje ovisi o otporu. Smanjenje otpora zahtijeva povećanu struju i obrnuto. Previsoka struja zavarivanja može također uzrokovati stvaranje pukotina i praznina u zavarivanju što može smanjiti vlačnu čvrstoću. Sila elektrode osigurava stabilniju vezu između elektrode i metala tijekom cijelog postupka zavarivanja. Prevelika sila može uzrokovati deformacije, što daje veću površinu spoja, ali i iskrivljenje metala. Nedovoljna sila može prouzročiti iskrenje metala, [2].

3.8. Prednosti elektrootpornog točkastog zavarivanja

Jedna od prednosti kod elektrootpornog zavarivanja je to što ne zahtijeva nikakve dodatne materijale ili plinove te se lako automatizira za industrijsku proizvodnju. Elektrootporno točkasto zavarivanje je relativno jeftin i brz postupak zavarivanja, a u isto vrijeme se postiže dobra razina kontrole kvalitete, [2].

3.9. Nedostaci elektrootpornog točkastog zavarivanja

Iako se tanki metali mogu se savršeno spojiti, elektrootporno zavarivanje ima poteškoća s proizvodnjom velikih komada zavara. Nedostatak ove metode je da nije toliko korisna za visoko vodljive materijale i teško spaja više od dva metala. Kvaliteta zavarenog spoja često je teško istražiti jer se mjesto zavara nalazi između dva metala, a kvaliteta zavara može varirati zbog varijabilnosti i pogrešaka koje mogu nastati. Lijepljenje elektrode također je čest problem za Elektrootporno točkasto zavarivanje gdje se materijal može zalijepiti za vrh elektrode tijekom zavarivanja, [2].

4. Baterije

Elektrokemijski izvor energije ili baterija je uređaj koji omogućuje energiju koja se oslobađa u kemijskoj reakciji pretvoriti izravno u električnu energiju, [7].

4.1. Općenito o baterijama

Baterije ispunjavaju dvije glavne funkcije. Prije svega djeluju kao prijenosni izvori električne energije. Dobro poznati suvremeni primjeri kreću se od malih plosnatih baterija koje se koriste u električnim satovima do akumulatora koji se koristi za paljenje i osvjetljavanje automobila. Druga funkcija, temelji se na sposobnosti određenih elektrokemijskih sustava da pohranjuju električnu energiju opskrbljenu vanjskim izvorima. Takve se baterije koriste za upravljanje električnim vozilima, za napajanje u nuždi i kao dio glavnog sustava za opskrbu električnom energijom za zadovoljavanje kratkotrajnih vrhova potražnje ili zajedno s obnovljivim izvorima energije, poput sunčeve, valne ili snage vjetra, [7].

Baterije moraju osigurati pouzdani izvor električne energije za trošila koja moraju neprestano raditi za vrijeme nestanka napajanja. Često puta su trošila u istosmjernim razvodima prekidači koji zahtijevaju napajanje velikom strujom u kratkom vremenu, a baterije koje ih napajaju često nemaju visoke performanse zbog toga što visoko kvalitetne baterije imaju tanje ploče, time i kraći životni vijek od baterija srednje kvalitete, što bi smanjilo pouzdanost sustava istosmjernog razvoda. Slična razmišljanja vrijede i za izmjenične sustave napajanja. Veća postrojenja imaju klimatiziranje ili dobro izolirane prostore zbog temperaturnih zahtjeva baterija. Međutim, to nije slučaj s manjim distributivnim trafo stanicama u kojima su baterije postavljene, obično u malim, slabo ventiliranim prostorijama. Pa ipak, baterije moraju biti u stanju da osiguraju sigurnu opskrbu električnom energijom i u ekstremnim temperaturnim uvjetima, [8].

4.2. Povijesni osvrt na prvu bateriju

Prvi ovjereni opis elektrokemijske baterije dao je Alessandro Volta, profesor fizike sa Sveučilišta Pavia u Italiji, u pismu kraljevskom društvu u Londonu 1800. godine, [7].



Slika 4.2.1. Prikaz originalne Volta "hrpe" [7]

Značaj Voltinog otkrića kao alata za unapređenje razumijevanja kemije i fizike odmah su shvatili znanstvenici u brojnim zemljama. Međutim, upravo je uvođenje telegrafskih sustava, koji su postajali sve važniji u 1830.-ima, dovelo do razvoja pouzdanih komercijalnih baterija, sposobnih za održavajući značajan protok struje bez pretjeranog gubitka napona ćelije, [7].

4.3. Litij-ion baterije

Istraživanja u Litij-ion tehnologiji dovela su do istiskivanja Ni-MH baterija u mnogim primjenama kao što su u prijenosna računala. Ova tehnologija dosta obećava u električnom pogonu vozila i aplikacijama za pohranjivanje energije. Rad na visokim temperaturama je svakako veliki plus za Litij-ion baterije. Ispitivanja su pokazala da gotovo nema razlike u radu na temperaturi od 60 °C od one na 25 °C. Litij-ion baterije nije potrebno posebno održavati obzirom na elektrolit. Budući da nije potrebno dodavati vodu, ne postoji opasnost od izlivanja kiseline, čime su sigurne za rukovanje, [8].

Brzi razvoj visoko vrijednih elektroničkih potrošačkih proizvoda kao što su električni satovi, kalkulatori, pametne kartice, daljinski upravljači, video igre itd. postavila je sve veće zahtjeve za baterijskom tehnologijom za sustave s većim specifičnim kapacitetom, energijom i snagom. Od svih mogućih anodnih materijala, litij je možda najatraktivniji jer kombinira povoljan termodinamički potencijal elektrode s vrlo visokim specifičnim kapacitetom (3,86

Ah/g; 7,23 Ah/cm³) . Kao rezultat svoje elektropozitivne prirode, litij brzo smanjuje vodu, a ćelije s litijevim anodama obično koriste nevodene elektrolite, [7].

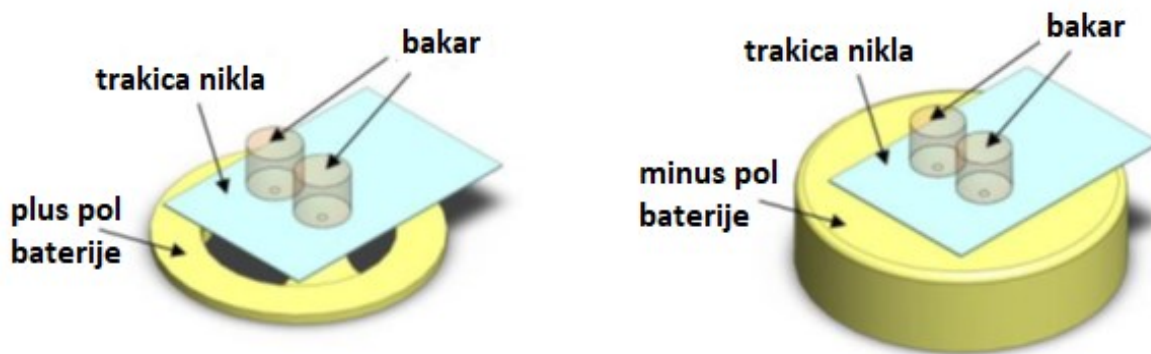
Tablica 4.3.1. Svojstva korištene 18650 li-ion baterije [9]

Kapacitet	1500 mAh
Nazivni napon	3.7V
Unutarnja impedancija	≤ 70mΩ
Minimalna vrijednost napona baterije prilikom pražnjenja	3.0 V
Maksimalna vrijednost napona punjenja baterije	4.20 ± 0.05 V
Standardna vrijednost struje punjenja baterije	0.52 A
Vrijednost struje brzog punjenja baterije	1.3 A
Standardna vrijednost struje pražnjenja baterije	0.52 A
Vrijednost struje brzog pražnjenja baterije	1.3 A
Vrijednost maksimalnog pulsa struje pražnjenja baterije	2.6 A
Težina	46.5 ± 1g
Maksimalna dimenzija	Presjek 18.4 mm Visina 65.2mm
Radna temperatura	Punjenja: 0 – 45 °C Pražnjenja: -20 – 60 °C
Temperatura skladištenja	0- 35 °C

4.4. Elektrootporno točkasto zavarivanje spojnih kontakata baterija

Elektrootporno točkasto zavarivanje malih razmjera često je poželjna metoda spajanja Litij-ion baterija u baterijske pakete. Ovaj postupak osigurava čvrste spojeve uz gotovo potpuno uklanjanje utjecaja topline na spojene materijale tijekom kratkog vremena. Dodatna prednost je mogućnost spajanja različitih dijelova koji se često značajno razlikuju međusobno u pogledu njihove geometrije. Budući da je izlaganje ćelije baterije toplini kratko, količina prenesene topline u ćeliju je mala. To znači da toplina ostaje blizu i na površini gdje je okolna atmosfera brzo apsorbira. Stoga način zavarivanja ima minimalan utjecaj na bateriju, jer u bateriji nema reakcija kataliziranja uzrokovanih toplinom. S druge strane, može doći do deformacije ako elektrodom primjenimo preveliku silu. Ova deformacija može promijeniti raspodjelu temperature i ometati struju da protiče najkraćim putem. Što bi moglo uzrokovati da struja više teče u bateriju, što uzrokuje prijenos topline u jezgru baterije. Rezultat je lošiji spoj zbog nedovoljne temperature na kontaktnim mjestima. Međutim sila zavarivanja možda neće biti preniska. Slaba primijenjena sila elektrode, a time i spoj, može stvoriti lagani

električni luk koji uzrokuje iskrenje metala i rezultira slabim zavarivanjem. Iako ne bi predstavljao nikakvu opasnost za bateriju, [2].



Slika 4.4.1. Prikaz primjene elektrootpornog točkastog zavarivanja malih razmjera za zavarivanje metalnih traka na baterije [10]

Pri zavarivanju baterija iz baterija se mogu pojaviti lutajuće struje. Ove struje suprotstavljaju se primjenjenoj struji iz elektroda pa stoga moramo računati s većom primjenjenom početnom strujom. Ali moramo paziti jer previsoka primjenjena struja može dovesti do ljepljenja elektrode za metal, [2].

Kvaliteta zavarenog spoja važan je čimbenik u određivanju performansi i sigurnosti baterije. Kontakt između metalne trake i kućišta baterijske ćelije mora biti mehanički jak i imati mali električni otpor. Nepravilan kontakt može rezultirati većim otporom kontakta što će dovesti do prekomjernog zagrijavanja spoja, a time i same baterije, [11].

Da bi postigli čvršću vezu između metalne trake i baterije, koristimo višestruka spojna mjesta na priključku baterije. Veća je vjerojatnost da sama metalna traka otkáže pod mehaničkim naprezanjem nego spoj. Stoga se u ovom slučaju prvenstveno uzima u obzir električni kontaktni otpor, [12].

4.5. Korišteni materijali za spojne trake

Metalne trake koje se koriste za spajanje baterija uz pomoć elektrootpornog točkastog zavarivanja izrađene su od različitih materijala. One uključuju sljedeće; čelik, nikal, bakar i aluminij. Međutim, može se pokazati da je aluminij i bakar teško zavariti pomoću elektrootpornog točkastog zavarivanja zbog njihove izvrsne toplinske i električne vodljivosti. Uz to, budući da je kontrola temperature ograničena na jednu temperaturu, različita temperatura taljenja zavarenih materijala također je ograničenje. Dva provodna materijala

koja se često koriste u spajanju baterija su legure na bazi nikla i čelika. Debljina traka koje se koriste za zavarivanje trebala bi biti manja od 0,4 mm za nikal i manja od 0,3 mm za trake izrađene od legura na bazi čelika. To je zbog provodljivosti materijala koja postaje prevelika ako se prekorače te debljine. Trake deblje od ovoga imaju preveliku vodljivost, što će ograničiti struju da dođe do podloge i rezultirati lošim zavarivanjem, [2].



Slika 4.5.1. Korištena trakica nikla

5. Ekonomska analiza elektrootpornog točkastog zavarivanja

Najosnovniji troškovi elektrootpornog točkastog zavarivanja su troškovi izvora napajanja i elektrode za zavarivanje. Tu je elektrootporno točkasto zavarivanje superiornije u odnosu na druge alternativne metoda zavarivanja zbog svoje niske cijene. Glavni ekonomski učinci, primjenjivi i na masovnu i na malu proizvodnju uključuju; trošak električne energije, trošak inertnog okoliša u obliku plina, troškovi materijala i na kraju troškovi rada. Pokazalo se da automatizacija i poluautomatizacija pružaju nekoliko povlastica u vidu troškova. Studije ukazuju na smanjenje ukupne potrošnje energije, troškova rada i troškova materijala zbog manjeg otpada uz viši stupanj automatizacije. Potencijalne uštede na elektrodnim materijalima uslijed trošenja ili degeneracije su ograničene, ali još uvijek su faktor koji treba uzeti u obzir. Automatski postupak rezultira manjim trošenjem elektrode i zauzvrat nižim troškovima materijala. Što se tiče troškova rada, uključujući obrazovanje osoblja i plaća, oni se smanjuju automatizacijom, također osiguravajući kvalitetu spoja i minimizirajući zaustavljanje u proizvodnji. U slučaju kvara opreme tada su troškovi održavanja i početni troškovi jedini pogođeni troškovi u potpuno automatiziranom procesu, bez brige zbog neproduktivnih troškova zaposlenika, [2].

Ekonomska analiza dobivena je na temelju usporedbe lemljenja i točkastog zavarivanja aparatom Sunkko 709 AD. Cijena aparata iznosi 1332 kune, trakice nikla potrebne za zavarivanje iznose 22.5 kune, dok žica za lemljenje iznosi 44 kune. Iz navedenog se može zaključiti da je materijal potreban za točkasto zavarivanje jeftiniji od onoga za lemljenje.

Koristeći se formulom za potrošnju električne energije:

$$E_{(kWh)} = (P_{(W)} \times t_{(h)}) / 1000$$

dobiven je izračun za potrošnju električne energije kod lemljenja i zavarivanja.

Što se tiče potrošnje energije kod lemljenja, zaposlenik u svojem tjednom radnom vremenu od 40 sati koristi lemlicu snage 50 W. Koristeći se navedenom formulom

$$E_{(kWh)} = (50 \times 40) / 1000 = 2 kWh$$

postignut je izračun potrošnje energije prilikom lemljenja u iznosu od 2 kWh.

Što se tiče potrošnje energije kod točkastog zavarivanja, ne može se točno odrediti koliko zaposlenik u svojem tjednom radnom vremenu koristi aparat, jer prilikom točkastog

zavarivanja energija se troši samo prilikom zavarivanja. Stoga ukoliko se s aparatom snage 2200W napravi 200 000 zavara tjedno, prilikom kojeg jedan zavar traje oko 5 mili sekundi, dobiven je izračun od 1000 sekundi (5/18 sati) rada tjedno. Koristeći se navedenom formulom

$$E_{(kWh)} = (2200 \times 5/18) / 1000 = 0.611 kWh$$

Postignut je izračun potrošnje energije prilikom točkastog zavarivanja u iznosu od 0.611 kWh.

Na temelju provedene ekonomske analize, rezultati ukazuju da je točkasto zavarivanje skoro 4 puta jeftinije od lemljenja kao metoda spajanja metala.

6. Automatizacija

Elektrootporno točkasto zavarivanje je metoda koja je prilagodljiva skalabilnoj automatizaciji. Automatizirano elektrootporno točkasto zavarivanje omogućuje velik protok proizvoda što je povoljno u većini industrija. Međutim, kvaliteta spoja, kao što je ranije spomenuto, koja utječe na svojstva proizvoda kao što su otpornost na nesreću, učinkovitost goriva i sigurnost vozila, od najveće je važnosti. Rezultat automatizacije, iako prvenstveno pozitivan na kvalitetu proizvoda, također može rezultirati promjenom kvalitete spoja i učinkovito šteti proizvodnoj dobiti. Međutim, automatizacija omogućuje kontrolu nad zavarenim spojevima kontrolirajući parametre kao što su struja zavarivanja, promjer vrha elektrode i sila elektrode. Suvremeni razvoj elektrootpornog točkastog zavarivanja kulminirao je integriranjem umjetne inteligencije i promatranjem njezinog učinka na kvalitetu spoja. Cilj je nadoknaditi ograničenja metode u automatiziranom procesu odabirom točnih parametara zavarivanja. To se radi pomoću prepoznavanja uzoraka i neuronske mreže Hopfield-a za predviđanje čvrstoće spoja i promjera točke spoja. Daljnji razvoj u automatizaciji elektrootpornog točkastog zavarivanja uključuje istraživače koji pokušavaju pronaći matematički odnos između različitih parametara zavarivanja i njegovo programiranje u umjetnu inteligenciju, [2].

7. Praktični primjer točkastog zavarivanja baterija

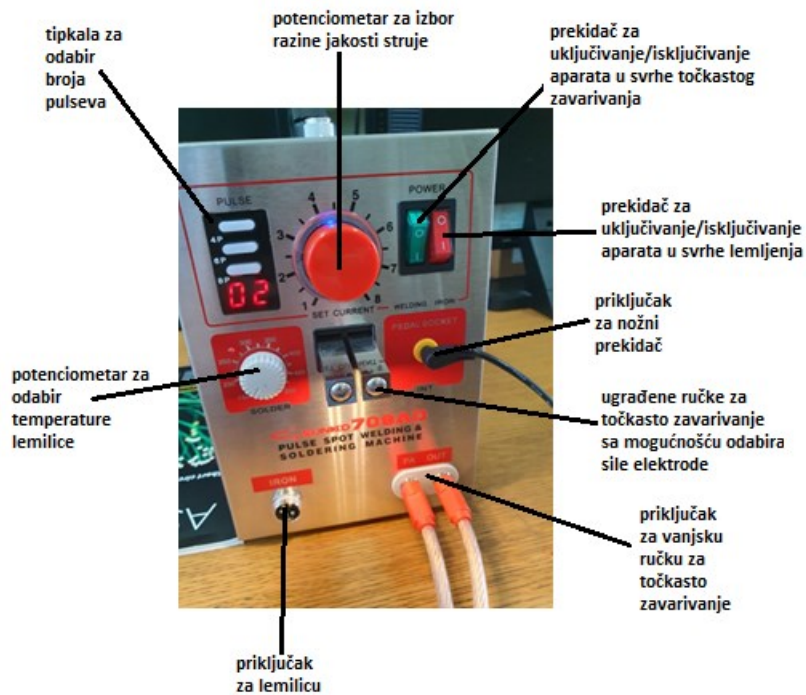
Najprije sam se upoznao s opremom za točkasto zavarivanje koja se sastoji od aparata Sunkko 709 AD, vanjske ručke za točkasto zavarivanje, nožnog prekidača te zaštitnih naočala. Važno je napomenuti kako je potrebno koristiti zaštitne naočale kako bi se osigurali od mogućih freanja iskri prilikom zavarivanja baterija.

7.1. Aparat Sunkko 709AD

Na slici 7.1.1. vidimo aparat Sunkko 709AD koji ima mogućnost lemljenja i zavarivanja. Navedeni aparat korišten je u svrhu točkastog zavarivanja baterija.



Slika 7.1.1. Sunkko 709AD aparat



Slika 7.1.2. Opcije na prednjem panelu Sunlko 709AD aparata



Slika 7.1.3. Nazivna pločica aparata za točkasto zavarivanje

Prema nazivnoj specifikacijskoj pločici (slika 7.1.3.) vidimo kako je izlaz s aparata od 80 do 800A što znači da potencijometar za izbor razine jakosti struje (vidljiv na slici 7.1.2.) predstavlja razine od 1 do 8 s pomakom od 0,5 koji odgovaraju intervalu od 80 do 800A u konačnici.

7.2. Analiza i utjecaj parametara na kvalitetu spoja

Nakon upoznavanja s aparatom, uslijedilo je testiranje te pokušaji pravljenja spoja s povišenjem razina jakosti struje i količine pulseva. Uzimao sam vrijednosti na kojima sam osjetio prvo hvatanje materijala pa sve do spoja koji se ne može raskinuti rukom

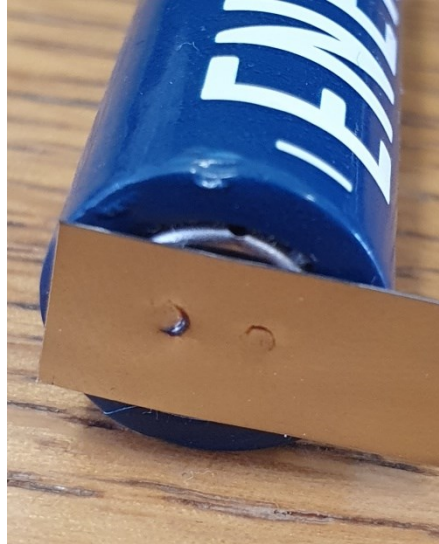
Tablica 7.2.1. Rezultati testiranja različitih parametara zavarivanja

BROJ PULSEVA	RAZINA JAKOSTI STRUJE	KOMENTARI
2	< 4	Nema naznake zavarivanja
	4	Naznaka prvog zavarivanja, ali gotovo nepostojan spoj
	4,5	Naznaka čvršćeg spoja, ali jako slab spoj
	5	Naznaka još čvršćeg spoja, no i dalje nedovoljno jak
	5,5	Spoj i dalje ostaje nedovoljno jak, ali se čvrstoća spoja povećava
	6	Spoj zavaren, rukom neraskidiv
4	< 3	Nema naznake zavarivanja
	3	Naznaka prvog zavarivanja, ali gotovo nepostojan spoj
	3,5	Naznaka čvršćeg spoja, ali jako slab spoj
	4	Spoj i dalje ostaje nedovoljno jak, ali se čvrstoća spoja povećava
	4,5	Spoj zavaren, rukom neraskidiv
6	< 2,5	Nema naznake zavarivanja
	2,5	Naznaka prvog zavarivanja, ali gotovo nepostojan spoj
	3	Naznaka čvršćeg spoja, ali jako slab spoj
	3,5	Naznaka još čvršćeg spoja, no i dalje nedovoljno jak
	4	Spoj vrlo čvrst, ali još uvijek rukom raskidiv
	4,5	Spoj zavaren, rukom neraskidiv
8	< 3	Nema naznake zavarivanja
	3	Naznaka prvog zavarivanja, ali gotovo nepostojan spoj
	3,5	Spoj vrlo čvrst, ali još uvijek rukom raskidiv
	4	Spoj zavaren, rukom neraskidiv

Iz tablice 7.2.1. vidimo da ako koristimo veći broj pulseva treba nam manja razina jakosti struje za zavarivanje, ali također što više pulseva koristimo to je veća šansa da progorimo trakicu nikla koju zavarujemo.

7.3. Usporedba spojeva točkastog zavora pri različitim parametrima

Na slici 7.3.1. vidimo spoj zavaren točkastim zavarivanjem na kojem je lijeva strana uspješno zavarena dok desna strana spoja nije.



Slika 7.3.1. Spoj napravljen korištenjem 2 pulsa i razine jakosti struje 6

Na slici 7.3.2. vidimo spoj zavaren točkastim zavarivanjem na kojem su obje strane spoja uspješno zavarene.



Slika 7.3.2. Spoj napravljen korištenjem 4 pulsa i razine jakosti struje 4,5

Na slici 7.3.3. Vidimo spoj zavaren točkastim zavarivanjem na kojem su obje strane uspješno zavarene, no uočena je naznaka male progorenosti.



Slika 7.3.3. Spoj napravljen korištenem 6 pulseva i razina jakosti struje 4,5

Na slici 7.3.4. vidimo spoj zavaren točkastim zavarivanjem na kojem je vidljiva velika progorenost koja ukazuje na slabu kvalitetu spoja jer je trakica nikla previše tanka za navedenu količinu pulseva.



Slika 7.3.4. Spoj napravljen korištenjem 8 pulseva i razine jakosti struje 4

7.4. Ispitivanje kvalitete spojeva

Nakon usporedbe utjecaja količine pulseva na progorenost trakica nikla, napravio sam dvanaest različitih rukom neraskidivih spojeva kojima sam mjerio silu potrebnu za kidanje spoja pomoću škripca i dinamometra.



Slika 7.4.1. Postava za ispitivanje kvalitete spoja korištenjem dinamometra i škripca

Treba napomenuti kako su baterije tijekom ispitivanja kvalitete spoja bile prazne te zbog toga nije moglo doći do samozapaljenja baterija prilikom stezanja baterija u škripcu.

Tablica 7.4.1. Prikaz rezultata kidanja spojeva

BROJ PULSEVA	RAZINA JAKOSTI STRUJE	SILA
2	6,5	48,05 N
	7	67,67 N
4	4,5	50,01 N
	5	66,69 N
	5,5	80,41 N
	6	40,21 N
6	4,5	71,58 N
	5	30,40 N
	5,5	72,57 N
	6	74,53 N
8	4	66,69 N
	4,5	53,94 N

Rezultati unutar tablice mogu dati neočekivani rezultat zbog varijacije sile pritiska elektrode i progorenosti spojeva.

7.5. Izrada serijskog baterijskog spoja od 12V za Hasta TT 12/600 bušilicu

Nakon ispitivanja spojeva različitih parametara te dobivenih rezultata slijedi izrada serijskog baterijskog spoja od tri litij-ionske baterije 18650 korištenjem najbolje pokazanih parametara.



Slika 7.5.1. Tri litij-ionske baterije 18650 korištene za izradu serijskog baterijskog spoja

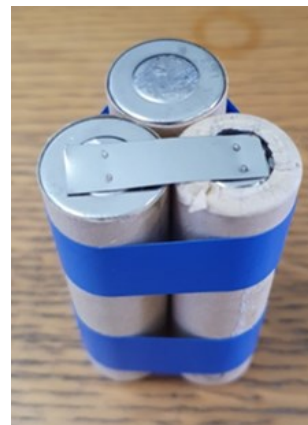
Za postizanje serijskog baterijskog spoja od 12V za Hasta TT 12/600 bušilicu, korištene su 3 litij-ion baterije 18650 koje su pričvršćene u potrebni oblik za ugradnju unutar bušilice.



Slika 7.5.2. Pričvršćene baterije u željenom obliku



*Slika 7.5.3. Zavarene baterije
s jedne i druge strane (a)*



Slika (b)

Na slici (a) vidimo trakicu nikla zavarenu između plus pola prve baterije i minus pola druge baterije dok na slici (b) vidimo trakicu nikla zavarenu između plus pola druge baterije i minus pola treće baterije.



Slika 7.5.4. Zavareni plus i minus izvoda (a)



Slika (b)

Nakon serijskog zavarivanja baterija prikazanih na slikama 7.5.3. (a) i (b) ostaju nam ne zavareni plus s jedne strane i ne zavareni minus s druge strane koje u konačnici zavarujemo kako je prikazano na slikama 7.5.4. (a) i (b), radi lakšeg lemljena istih izvoda u konačnu primjenu unutar bušilice.



Slika 7.5.5. Izrađen serijski baterijski spoj s dodatnim točkastim zavarom

Sve spojeve u baterijskom spoju ojačavamo dodatnim zavarivanjem istih kako je prikazano na slici 7.5.5. Tako spojevi imaju bolji kontakt te su dodatno neraskidivi.

8. Zaključak

Elektrootporno točkasto zavarivanje definirano je kao jedan od procesa zavarivanja pri kojem se metali koji se zavauju na dodrnim mjestima zagrijavaju zbog otpora prolasku struje te dolaze do točke taljenja prilikom koje se metali spajaju te nakon hlađenja istih se dobija zavareni spoj. Kod samog postupka zavarivanja bitno je osigurati metale koji se zavaruju, odabrati razinu jakosti struje i broj pulseva. Zatim pritisnuti elektrode na mjesta gdje se želi zavariti te nogom pritisnuti prekidač koji provodi struju kroz elektrode u broju pulseva koji su zadani. Tijekom zavarivanja bitno je koristiti zaštitne naočale zbog sigurnosti te preventiranja bilo kakvih mogućih ozljeda na radu. Važno je napomenuti kako treba biti pažljiv prilikom odabira izvora napajanja te materijala elektroda jer to uvelike utječe na kvalitetu spoja. Dakle, različiti parametri pod različitim utjecajima daju drugačije rezultate kvalitete spoja. Elektrootporno točkasto zavarivanje brz je te jeftin postupak zavarivanja dok se u isto vrijeme postiže dobra razina kontrole kvalitete spoja. Ovaj postupak osigurava čvrste spojeve uz gotovo potpuno uklanjanje utjecaja topline na spojene materijale tijekom kratkog vremena, stoga način zavarivanja ima minimalan utjecaj na bateriju, jer u bateriji nema reakcija kataliziranja uzrokovanih toplinom. Međutim, iako se tanki metali mogu savršeno spojiti, poteškoće se javljaju s proizvodnjom velikih komada zavara. Unatoč navedenim prednostima i nedostacima, treba istaknuti kako će se dominacija elektrootpornog točkastog zavarivanja i dalje zadržati u narednih nekoliko godina jer najvažniji kriterij pri odabiru prikladnog postupka zavarivanja jest mogućnost postizanja pouzdanih i pravilno izvedenih zavara što upravo pruža navedeni postupak zavarivanja.

9. Literatura

- [1] M.Vural, *Welding Processes and Technologies*, Istanbul, 2014.
- [2] H.Larsson, A. Chanberlain, S. Walin, S. Schouri, L. Nilsson, E. Myrsell, D. Vasquez, *Welding methods for electrical connections in battery systems*, UPPSALA UNIVERSITET, 2019.
- [3] J.Pavković, *Primjena elektrootpornog točkastog zavarivanja u autoindustriji*, Završni rad, Zagreb, 2021.
- [4] G. Meden, A. Pavelić, D. Pavletić., *Sveučilište u Rijeci tehnički fakultet, Osnove zavarivanja*, Rijeka, 2000.
- [5] R. W. Manufacturers: *Resistance Welding Manual*, Miami, Florida: Resistance Welder Manufacturers (RWMA), 2003.
- [6] I.Granić, 1. Izdanje- *Beograd: Tehnička knjiga nova Zavarivanje tehnike i primena*, 2015.
- [7] C.A. Vincent, B. Scrosati, *Modern Batteries (An Introduction to Electrochemical Power Sources)*, Elsevier Science, 1997.
- [8] S.Skok, *Besprekidni izvori napajanja*, Kigen d.o.o., Zagreb., 2002., str S.Skok, *Besprekidni izvori napajanja*, Kigen d.o.o., Zagreb., 2002.
- [9] EEMB Co., Ltd, *Lithium-ion Battery, Data Sheet*, 2010.
- [10] M. Masomtob, R. Sukondhasingha, J. Becker, D. U. Sauer, *Parametric Study of Spot Welding between Li-ion Battery Cells and Sheet Metal Connectors*, Engineering Journal, Electrochemical Energy Conversion and Storage Systems Group, Institute for Power Electronics and Electrical Drives (ISEA), RWTH Aachen University, Aachen, 52066, Germany, Institute for Power Generation and Storage Systems (PGS), E.ON ERC, RWTH Aachen University, Aachen, 52074, Germany, Juelich Aachen Research Alliance, JARA-Energy, Germany, Materials for Energy Research Unit, National Metal and Materials Technology Center (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani 12120, Thailand, 2017.

- [11] R.R. Vallabha, R.S. Sumit, R. Ashok, N.J. Sambhu, S. Duraisamy, P. Raju, G. Raghavan, S. Govindan, Tailoring micro resistance spot welding parameters for joining nickel tab to inner aluminium casing in a cylindrical lithium ion cell and its influence on the electrochemical performance, Journal of Manufacturing Processes, Centre for Automotive Energy Materials, International Advanced Research Centre for Powder Metallurgy and New Materials (ARCI), Chennai, 600113, Tamil Nadu, India, 2020.
- [12] N. Phichai, P. Kaewtatip, V. Lailuck, S. Rompho, M. Masomtob, Parametric Effects of Resistance Spot Welding between Li-ion Cylindrical Battery Cell and Nickel Conductor Strip, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, Center (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani, Thailand, 2019.
- [13] R. Zelenika, Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog rada, treće izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka 1998.

10. Životopis

Fabijan Abjanović, student 3. godine preddiplomskog sveučilišnog studija elektrotehnike, smjer komunikacije i informatika, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Završio četvrti razred srednje tehničke škole Nikole Tesle u Vukovaru, smjer elektrotehnika, s odličnim uspjehom uz završni rad "Sklopnici i elementi daljinskog upravljanja".