

Removal of Weld Oxides (REWOX)

Sub report 4.

Utbildningsmaterial och Guideline

Post weld cleaning of stainless-steel welds with electrolytical cleaning and handheld laser ablation

REWOX – Educational material and guideline

Love Englund, Klara Trydell, Maria Allvar Kärrbrant

Project number: 10874 Published: 2025-10-30

Open: Yes

Distribution

Open report REWOX

Participating companies:

Agaria
Alleima EMEA AB
Cougartron
Forsmarks Kraftgrupp
NIBE
OKG
Outokumpu
Ringhals
Stål & Rörmontage
Svetskommissionen
Swerim

The project was financed by Vinnova, Formas and Energimyndigheten as a project within the strategic innovation programme Metalliska Material. The project consortium members are greatly acknowledged for their contributions and sharing of expertise.

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

**Strategiska
innovations-
program**

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Innehållsförteckning	1
1 Borttagning av svetsoxider	1
2 Betning	2
3 Elektrolytisk rengöring	3
4 Laserablation.....	4
5 Jämförelse och slutsatser	6
6 Källförteckning.....	7
Bilaga A: Riktlinjer och regler i Sverige.....	8
A.1 Kemisk rengöring (Betning).....	8
A.2 Elektrolytisk rengöring.....	8
A.3 Laserablation	9
A.4 Miljöramverk.....	9
Bilaga B Description of the programme	10

1 BORTTAGNING AV SVETSOXIDER

Vid svetsning av rostfritt stål och andra metaller bildas oxider på ytan som kan försämra korrosionsbeständigheten och ge ett oönskat utseende. För att återställa materialets egenskaper och utseende används olika metoder för att avlägsna dessa oxider. Tre metoder använda i olika utsträckning är betning, elektrolytisk rengöring och laserablation.

Detta utbildningsmaterial är tänkt att agera som grundläggande bakgrundskunskap och riktlinje för arbete i syfte att ta bort svetsoxider med målet att återställa korrosionsbeständighet. Är målet i stället för korrosionsmotstånd exempelvis visuella krav kan punkterna ”korrosionsprestanda” bortses ifrån, med konstaterandet att samtliga metoder kan användas i syftet att visuellt osynliggöra en svetsoxid.

Benämnda relevanta standarder berör användning av utrustningen i syfte att ta bort svetsoxider, och inte exempelvis säkra arbetssätt eller säkerhetsutrustning. Information om dessa finns i avsnittet om regelverk i REWOX-projektets delrapport *Assessment of the cleaning methods impact on global environment and work environment*.

2 BETNING

Betning är en kemisk metod där oxider löses upp med hjälp av syror, oftast en blandning av salpetersyra (HNO_3) och fluorvätesyra (HF). Metoden används främst för rostfria stål och syftar till att återställa kromoxiden på ytan, så ytan på svetsförbandet är passivt [1,2,3].

Princip

Svetsoxider och värmepåverkade zoner behandlas med betpasta, betgel eller genom dopning i betbad. Syrorna löser upp oxiderna och lämnar en ren metallisk yta som snabbt återpassiveras i kontakt med luft. Detta avsnitt handlar om betpasta då det är mer praktiskt i fält jämfört med betbad.

Instruktion och rekommendationer

- Rengör ytan från fett och smuts innan betning.
- Applicera betpasta jämnt över svetsområdet och låt verka enligt leverantörens anvisningar (vanligen 30–90 minuter).
- Skölj noggrant med vatten efteråt för att avlägsna syror.
- Neutralisera avfall innan det lämnas för destruktion.

Fördelar

- Effektiv även på komplexa geometrier.
- Bevisat sätt att återställa korrosionsskyddet.

Begränsningar och säkerhet

- Kräver noggrann hantering av starka syror.
- Risk för miljöpåverkan – avfall måste neutraliseras.
- Skyddsutrustning är obligatorisk (handskar, skyddsglasögon, ventilation mm, för fullständig lista se ”REWOX-projektets delrapport Assessment of the cleaning methods impact on global environment and work environment”).

Relevanta standarder

- ASTM A380M-25 – Cleaning, Descaling and Passivation of Stainless Steel.
- EN 2516:2023 – Passivation of corrosion resisting steels.

Påverkan av legering

Låglegerade stål kräver mildare betmedel, medan höglegerade stål (t.ex. duplex och superaustenitiska) kräver starkare syror och/eller längre verkningstid [3].

Betning i jämförelse:

- **Korrosionsprestanda:** Betning är den mest robusta metoden för att återställa korrosionsmotståndet, svetsade bitar kan kräva längre behandlingstider än de angivna på leverantörens anvisningar. De visuellt klaraste ytorna är inte alltid de med starkast korrosionsskydd, vilket gör kompletterande verifiering med provning viktig vid användning för nya material eller geometrier [10].
- **Arbetsmiljö:** Betning innebär den högsta risknivån för hälsa. Syror som HF och HNO_3 är extremt farliga och kan orsaka allvarliga skador på hud, ögon och andningsorgan. Processen kräver full skyddsutrustning, kontrollerad miljö och strikt avfallshantering [11].
- **Miljö:** Betning har den största miljöpåverkan av de tre metoderna. Den genererar farligt avfall, förorenat sköljvatten och kräver neutralisering av syror. Detta gör metoden mindre lämplig för fältarbete och alltmer begränsad av lagkrav [11].

3 ELEKTROLYTISK RENGÖRING

Elektrolytisk rengöring är en elektrokemisk metod där oxider avlägsnas med hjälp av elektrisk ström i kombination med en elektrolyt. Metoden används ofta för rostfria stål och ger en blank yta [4,5,6].

Princip

En elektrod, ofta i form av en pensel eller klämman, kopplas till en strömkälla och doppas i en elektrolyt. När elektroden förs över svetsområdet löses oxiderna upp genom en kombination av kemisk reaktion och elektrisk energi.

Instruktion och rekommendationer

- Använd en elektrolyt som är avsedd för rostfritt stål.
- Koppla rätt polaritet enligt utrustningens instruktioner.
- För elektroden långsamt över svetsområdet tills oxiderna försvinner.
- Skölj ytan med vatten efter rengöring.

Fördelar

- Snabb och lokal behandling.
- Ingen risk för överetsning av omgivande ytor.
- Ger en blank yta utan ytterligare polering.

Begränsningar och säkerhet

- Kräver strömkälla och specialutrustning.
- Elektrolyten är frätande och kräver skyddsutrustning (handskar, ventilation).

Relevanta standarder

- ISO 15730:2023 – Electrolytic polishing of stainless steel (relevant för teoretisk bakgrund och processkontroll).

Påverkan av legering

Austenitiska stål ger ofta en jämn, blank yta. Duplex och höglegerade stål har setts kräva optimerade parametrar för att undvika ojämn korrosion [4,5,10].

Elektrolytisk rengöring i jämförelse:

- **Korrosionsprestanda:** REWOX visade att elektrolytisk rengöring kan ge korrosionsmotstånd nära kemisk betning för höglegerade och duplexa stål. Däremot var vissa låglegerade kvaliteter svårare att behandla och krävde längre behandlingstid för att uppnå godtagbara resultat. Visuellt rena ytor var inte alltid en garanti för att oxiderna var helt borta eller fullgod korrosionsbeständighet, vilket gör kompletterande verifiering med provning eller ytanalys nödvändig [10].
- **Arbetsmiljö:** Metoden har lägre risknivå för hälsan än betning eftersom den använder mildare elektrolyter och mindre aggressiva kemikalier. Dock krävs skydd mot stänk, elektrisk säkerhet och hantering av elektrolyter. Personlig skyddsutrustning (PPE) omfattar skyddsglasögon, handskar och i vissa fall ventilation [11].
- **Miljö:** Elektrolytisk rengöring har låg miljöpåverkan jämfört med betning. Den använder milda syror (ofta fosforsyra-baserade) och genererar små mängder avfall som är enklare att neutralisera. Detta gör metoden mer lämpad för fältarbete och i linje med hållbarhetsmål [11].

4 LASERABLATION

Laserablation är en mekanisk-optisk metod där en högenergilaser avlägsnar oxider genom att förångas eller spränga bort materialet från ytan. Metoden är kontaktfri och används ofta i automatiserade processer [7,8,9].

Princip

En pulserande laser riktas mot svetsområdet. Den höga energitätheten bryter bindingarna i oxidskiktet, som förångas eller lossnar i små partiklar. Underliggande metall påverkas minimalt om parametrarna är rätt inställda.

Instruktion och rekommendationer

- Använd en laser med rätt våglängd och effekt för materialet, enligt rekommendationer från leverantör.
- Justera fokus och hastighet för att undvika skador, så som repor eller värmepåverkan med oxiduppbbyggand (färgskiftningar), på basmaterialet.
- Säkerställ att arbetsområdet är avskärmat och att operatören har korrekt PPE enligt AFS 2023:11.

Fördelar

- Ingen kemikalieanvändning.
- Mycket exakt och repeterbar process.
- Lämplig för automatisering och robotisering.

Begränsningar och säkerhet

- Hög investeringskostnad för utrustning.
- Kräver laserklassad skyddsutrustning och avskärmning.

Relevanta standarder

- AMPP SP21511-1:2024 – Pulsed Laser Ablation for Ferrous Metals (Informativ icke-kravställande standardpraxis, gäller även rostfritt i praktiken.), samt SS-EN 60825-1 – Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements.

Påverkan av legering

Låglegerade stål kräver lägre energitäthet, medan höglegerade stål har högre ablationströskel och kräver och tål mer energi. Alla material kräver noggrann parameterstyrning [8,9,10].

Laserablation i jämförelse:

- **Korrosionsprestanda:** REWOX visade att laserablation har potential för automatiserade processer men inte konsekvent kunde uppnå samma korrosionsmotstånd som betning, särskilt för höglegerade och duplexa stål. Visuellt rena ytor kunde innehålla kvarvarande oxider eller mikrosprickor i oxiden efter SEM-analys, vilket kan ha leda till den lägre korrosionsprestandan. Därför är kompletterande verifiering med provning nödvändig, och förarbete för att hitta fungerande parameteruppsättning väsentligt för korrosionsbeständighet [10]. Val av laseroptik påverkar ableringsresultatet.
- **Arbetsmiljö:** Laserablation eliminerar kemikalier men introducerar andra risker. Klass 4-laser innebär allvarliga ögon- och hudskador vid felaktig hantering, samt risk för inandning av partiklar. Metoden kräver omfattande säkerhetsrutiner, utbildning, laser-

säkerhetsansvarig och personlig skyddsutrustning (laserklassade glasögon, flamsäkra kläder, ventilation) [11].

- **Miljö:** Metoden har låg miljöpåverkan eftersom inga syror används och inget farligt avfall genereras. Dock kräver den energiintensiv utrustning och kan ge luftburna partiklar som måste hanteras med utsug. Sammantaget är den betydligt mer hållbar än betning, särskilt i fältapplikationer [11].

5 JÄMFÖRELSE OCH SLUTSATSER

Jämförelsetabell

Metod	Miljöpåverkan	Arbetsmiljörisk	Fältlämplighet
Betning	Hög – farliga syror, avfall, risk för spill	Hög – HF och HNO ₃ extremt farliga, kräver full PPE	Låg – begränsad av lagkrav och säkerhetskrav
Elektrolytisk	Låg – milda elektrolyter, lättare avfallshantering	Medel – kräver PPE och elsäkerhet, men betydligt säkrare än betning	Hög – portabel och praktisk för fält
Laserablation	Låg – ingen kemi, men energikrävande och partiklar	Hög – klass 4-laser, risk för ögon/hudskador, kräver strikt säkerhet	Medel – portabel utrustning finns, men höga säkerhetskrav

Sammanfattande slutsatser

- **Miljö och hållbarhet:** REWOX visade att elektrolytisk rengöring och laserablation ger betydligt lägre miljöpåverkan än betning. De minskar behovet av farliga kemikalier och avfall, vilket gör dem mer i linje med hållbarhetsmål.
- **Arbetsmiljö:** Betning innebär de största hälsoriskerna och är därför minst lämplig för fältarbete. Laserablation eliminerar kemikalier men introducerar höga säkerhetskrav (klass 4-laser). Elektrolytisk rengöring erbjuder den bästa balansen mellan säkerhet och effektivitet.
- **Regler och fälttillämpning:** Betning är alltmer begränsad i fält på grund av lagkrav och risker. Elektrolytisk rengöring är mest lämpad för fältapplikationer, medan laserablation kräver omfattande säkerhetsrutiner och utbildning, men är bättre lämpad för mekanisering/automatisering.

6

KÄLLFÖRTECKNING

1. Euro Inox. *Betning och passivering av rostfritt stål – Material och användningsområden, volym 4.*
2. Artizono. *Omfattande guide till betning av stål: Steg-för-steg-process och kemikalieval.*
3. MachineMFG. *Vad är betning av stål? Definition, metoder och tillämpningar.*
4. MachineMFG. *Elektrolytisk polering av rostfritt stål: Förklarat.*
5. SISAB Sweden. *Hur det fungerar – Elektrolytisk svetsrengöring.*
6. Cougartron. *Elektrokemisk betning – Det snabbaste sättet att rengöra svetsar.*
7. Agaria. *Laserrengöring – laserutrustning för rengöring.*
8. Laserblast. *Hur fungerar laserrengöring i 5 steg.*
9. MFG Shop. *Laserablation förklarat: Fördelar och nackdelar.*
10. REWOX-projektet, *Delrapport – Detailed experimental report.*
11. REWOX-projektet, *Delrapport – Assessment of the cleaning methods impact on global environment and work environment.*

BILAGA A: RIKTLINJER OCH REGLER I SVERIGE

A.1 Kemisk rengöring (Betning)

Regulatory Authorities:

- Swedish chemicals agency
- Swedish environmental protection agency (Naturvårdsverket)
- Swedish work environment authority

Key regulations:

- AFS 1992:9 – Fusion welding and thermal cutting: Addresses risks from fumes, chemical exposure, and fire hazards during welding and related processes.
- REACH & CLP regulations: Strictly regulate hazardous substances like nitric and hydrofluoric acid, requiring safety data sheets (SDS), proper labeling, and risk management.
- Swedish environmental code:
 - Enforces the precautionary principle, polluter pays principle, and product choice principle.
 - Requires operators to assess environmental risks before starting and throughout the activity.
 - Supervisory authorities may issue bans, permits, or corrective actions based on these principles.

Contaminated sites oversight:

- Improper chemical handling can lead to site contamination, which falls under remediation protocols outlined by Swedish Environmental Protection Agency.

A.2 Elektrolytisk rengöring

Regulatory authorities:

- Swedish chemicals agency (Kemikalieinspektionen)
- Swedish work environment authority

Key regulations:

- AFS 2023:11: Covers electrical safety and PPE for handling electrochemical equipment in field operations.
- REACH Regulation (EC) No 1907/2006: Requires registration, safe handling, and documentation of chemical substances used in electrolytes.
- CLP Regulation (EC) No 1272/2008: Governs classification, labeling, and packaging of chemicals to ensure safe use and communication of hazards.

Environmental oversight:

- Wastewater and spent electrolytes must be managed under the Swedish Environmental Code, which enforces proper disposal and pollution prevention.

A.3 Laserablation

Regulatory authority:

- Swedish work environment authority (Arbetsmiljöverket)

Key regulations:

- AFS 2023:4 – Products – Machines: Governs the design and safe use of machinery, including laser systems. Requires risk assessments, CE marking, and compliance with harmonized standards such as EN 60825-1.
- AFS 2023:11 – Work equipment and personal protective equipment: Specifies requirements for PPE and safe use of work equipment, including laser safety goggles, signage, and operator training.
- AFS 2009:7 – Artificial Optical Radiation: Regulates exposure to artificial optical radiation, including laser systems. Covers risk assessment, exposure limits, protective measures, and medical surveillance for workers exposed to Class 3B and Class 4 lasers.
- EN 60825-1: International standard for laser safety, including classification, labeling, and exposure limits. Harmonized under EU law and applicable in Sweden.

Environmental oversight:

- Subject to the Swedish environmental code, which mandates precautionary measures and pollution control for any activity that may impact human health or the environment.

A.4 Miljöramverk

Swedish environmental code:

- Applies to all activities that may affect the environment or human health.
- Promotes sustainable development through:
 - Precautionary principle: Prevent harm before it occurs.
 - Polluter pays principle: Responsibility for environmental damage.
 - Product choice principle: Preference for less harmful alternatives.
 - Resource management: Encourages recycling and efficient use of materials.
- Used by authorities to issue permits, bans, and enforce compliance.

References and resources:

Swedish environmental code – Naturvårdsverket: <https://www.naturvardsverket.se/en/laws-and-regulations/the-swedish-environmental-code/>

Kemikalieinspektionen – Chemical Safety: <https://www.kemi.se/>

Arbetsmiljöverket – Föreskrifter: <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/>

Naturvårdsverket – Environmental Oversight: <https://www.naturvardsverket.se/en/>

BILAGA B DESCRIPTION OF THE PROGRAMME

Projektet REWOX är en del av det strategiska innovationsprogrammet

Metalliska material

Det strategiska innovationsprogrammet **Metalliska material** är ett samverkansprogram mellan Jernkontoret, Svenskt Aluminium och Gjuteriföreningen som delfinansieras av VINNOVA och löper under åren 2013–2025.

Programmets syftar till att förverkliga den strategiska innovationsagendan **Nationell samling kring metalliska material** vars långsiktiga vision är att svensk metallindustri ska vara ett centralt element i världens strävan att forma en bättre framtid. Det innebär att dess erbjudanden till kund måste ligga i den absoluta tekniska, ekonomiska och miljömässiga framkanten och utvecklas av drivna och engagerade människor. Samtidigt ska tillverkningsmetoderna ha ett så litet miljömässigt fotavtryck som det bara är möjligt.

Programmet stödjer insatser inom sju insatsområden för förnyelse, tillväxt och ökad konkurrenskraft:

1. Utveckla erbjudandet!
2. Öppna värdekedjan!
3. Öka materialutvecklingstakten!
4. Öka flexibiliteten!
5. Öka resurseffektiviteten!
6. Minska miljöpåverkan!
7. Öka kompetensen och attraktiviteten!

Programmets insatser består förutom FoU-projekt som valt i öppna utlysningar, även av strategiska projekt och aktiviteter.

Programkontor, med ansvar för ledning och administration av programmet, är Jernkontoret.

Jernkontoret

The Swedish Iron and Steel Producers' Association

Since its foundation in 1747, Jernkontoret has been owned jointly by the Swedish iron and steel companies. Jernkontoret represents Sweden's iron and steel industry on issues that relate to trade policy, research and education, standardisation, energy, the environment and sustainability as well as transportation issues. Jernkontoret also manages the joint Nordic research on steel. In addition, Jernkontoret draws up statistical information relating to the industry and carries out research into the history of mining and metallurgy.

Besöksadress

Kungsträdgårdsgatan 10

Telefon

+46 (0)8 679 17 00

E-post

office@jernkontoret.se

Organisationsnr

802001-6237

Postadress

Box 1721, 111 87 Stockholm

Webbplats

www.jernkontoret.se