

Repararea prin sudare a defectelor de mici dimensiuni la hidroagregatele energetice

Repair by welding of small-sized defects in hydropower units

Traian Țunescu^{1*}, Iulian Ștefan¹, Ionel Dănuț Savu²

¹ Universitatea din Craiova – doctorand / University of Craiova – PhD student

² Universitatea din Craiova / University of Craiova

Rezumat

Lucrarea, având un caracter practic, prezintă principalele linii directoare pentru repararea prin sudare a elementelor unui hidroagregat energetic, exemplificarea fiind făcută pe remanierea paletelor unei turbine Kaplan. Sunt prezentate aspecte legate de pregătirea în vederea sudării, modul de alegere a materialelor de adaos, efectuarea tratamentului de preîncălzire și alegerea parametrilor de sudare. Este impusă o limitare a energiei liniare la valoarea de 1,5 kJ/mm, iar temperatura de preîncălzire se recomandă a fi în intervalul 100-150°C. Valori mai mari ale acestor doi parametri pot reduce rezistența la coroziune prin pitting atunci când se efectuează încercarea de coroziune utilizând clorură ferică. Este, de asemenea, recomandată utilizarea curentului pulsant, în special la încărcarea prin sudare MIG.

Cuvinte cheie

Excavare zone cu defecte, curățare componente de sudat, preîncălzire, limitare energie liniară, sudare în curent pulsant

Abstract

The work, having a practical character, presents the main guidelines for the repair by welding of the elements of an energy hydro aggregate, the example being made on the reworking of the vanes of a Kaplan turbine. Aspects related to the preparation for welding, the way to choose the filler materials, the preheating treatment and the choice of the welding parameters are presented. A linear energy limitation of 1.5 kJ/mm is imposed, and the preheating temperature is recommended to be in the range of 100-150°C. Higher values of these two parameters can reduce the resistance to pitting corrosion when performing the corrosion test using ferric chloride. The use of pulsed current is also recommended, especially when charging by MIG welding.

Keywords

Excavation of defective areas, cleaning of welding components, preheating, linear energy limitation, pulsed current welding

1. Introducere

Agregatele energetice pot întâmpina diverse defecte de material în timpul funcționării, iar acestea pot fi variate în funcție de tipul și specificul agregatului, precum și de natura acțiunilor care le produc. Anumite elemente ale hidroagregatelor pot suferi procese de coroziune. Intensitatea acestor procese depinde de diverși factori, rezultând, în principal, din condițiile de funcționare. Prezența substanțelor corozive precum acizii, substanțele alcaline, sărurile sau substanțele chimice agresive în apa utilizată de hidroagregat poate accelera coroziunea. Condițiile extreme de temperatură și umiditate pot accelera coroziunea. Temperaturile ridicate și variațiile bruște de temperatură pot afecta negativ materialele din care sunt confecționate diversele elemente ale hidroagregatelor. Presiunea și viteza fluxului de apă prin hidroagregat pot și ele

1. Introduction

Energy aggregates may encounter various material defects during operation, and these may vary depending on the type and specifics of the aggregate, as well as the nature of the actions that produce them. Certain elements of hydro aggregates can undergo corrosion processes. The intensity of these processes depends on various factors, mainly resulting from the operating conditions. The presence of corrosive substances such as acids, alkaline substances, salts or aggressive chemicals in the water used by the hydro unit can accelerate corrosion. Extremes of temperature and humidity can accelerate corrosion. High temperatures and sudden changes in temperature can negatively affect the materials from which the various elements of hydro aggregates are made. The pressure and velocity

contribui la eroziunea și coroziunea materialelor. Prezența particulelor solide în apă (nisip, pietriș etc.) poate cauza eroziune și deteriorarea suprafețelor interioare ale hidroagregatelor. Lipsa compatibilității chimice dintre materialele a două componente aflate în contact poate duce și ea la coroziune chimică în anumite condiții, așa cum și prezența diferențelor de potențial electric între diferitele componente ale hidroagregatului poate contribui la procesul de coroziune, electrochimică de această dată. Diferit de influența condițiilor de exploatare asupra procesului de coroziune, imperfecțiunile sau defectele, specifice procesului de elaborare, din materialele utilizate pot duce la zone vulnerabile la coroziune [1].

Eroziunea este un alt fenomen care poate produce deteriorări ale elementelor hidroagregatelor. Ea apare atunci când particulele solide provenind din mediul fluid vehiculat (cum ar fi nisipul, pietrișul etc.) se deplasează cu viteză mare prin conducte sau echipamente, deteriorând suprafețele cu care se vor afla la un moment dat în contact.

Unele componente de hidroagregat pot experimenta fenomene de oboseală a materialului. Oboseala materialului este acel fenomen de deteriorare treptată a unui material datorită ciclurilor repetate de solicitare, el putând duce la fisuri și deteriorări structurale.

Tot încărcările, dacă sunt excesive de această dată, pot produce deformări sau fisurări ale componentelor hidroagregatului, în special dacă aceste încărcări au loc în condiții de fluctuare a temperaturii sau din cauza tensionării mecanice continue [2].

Fiind dispozitive aflate în mișcare, este de așteptat ca și calitatea lagărelor utilizate să se manifeste asemenea unui factor de influență. Lagărele se pot uza din motive de lubrifiere necorespunzătoare, contaminare sau suprasolicitare, sau pot avea diverse defecte ascunse, din fabricație.

Deși astfel de fenomene de deteriorare sau defecte sunt continuu monitorizate și gestionate în mod corespunzător, prin intermediul unui program de întreținere și inspecții periodice, de foarte multe ori funcționarea agregatelor energetice este departe de a fi una optimă și/sau sigură. Existența unor defecte de dimensiuni mici la nivelul elementelor în mișcare ale hidroagregatelor, pot produce scoateri din uz ale acestuia. Din acest motiv este necesară remanierea, de obicei prin sudare, a suprafețelor afectate. Dintre defectele de dimensiuni mici care se pot îndepărta cu ajutorul proceselor de încărcare prin sudare, se amintesc:

of water flow through the hydro aggregate can also contribute to erosion and corrosion of materials. The presence of solid particles in the water (sand, gravel, etc.) can cause erosion and damage to the internal surfaces of hydro aggregates. The lack of chemical compatibility between the materials of two components in contact can also lead to chemical corrosion under certain conditions, just as the presence of electrical potential differences between the different components of the hydro aggregate can contribute to the corrosion process, this time electrochemical.

Different from the influence of operating conditions on the corrosion process, imperfections or defects, specific to the manufacturing process, in the materials used can lead to areas vulnerable to corrosion [1].

Erosion is another phenomenon causing damage to the hydro units. It occurs when solid particles from the transported fluid medium (such as sand, gravel, etc.) move at high speed through pipes or equipment, damaging the surfaces with which they will be in contact at a given moment. Some hydro aggregate components may experience material fatigue phenomena. Material fatigue is phenomenon of gradual deterioration of a material due to repeated stress cycles, which can lead to cracks and structural damage.

Also the loads, if they are excessive this time, can produce deformations or cracks in the components of the hydro unit, especially if these loads take place in conditions of temperature fluctuations or due to continuous mechanical stress [2]. Being in motion, it is expected that the quality of the bearings used will manifest itself as a factor of influence. Bearings may wear due to improper lubrication or overload or may have various hidden manufacturing defects.

Although such phenomena of damage or defects are continuously monitored and properly managed, through a maintenance program and periodic inspections, very often the operation of the energy aggregates is far from being optimal and/or safe. The existence of small defects in the moving elements of the hydro aggregates can cause it to be taken out of use. For this reason, it is necessary to rework, usually by welding, the affected surfaces. Among the small defects that can be removed with the help of welding charging processes, we mention:

- Fisuri fine ce pot apărea din diverse motive, cum ar fi fluctuațiile de temperatură sau solicitarea mecanică. Ele pot deveni puncte caracterizate prin slăbire mecanică și pot evolua în timp în defecte mai mari.
- Coroziunea localizată, generată, așa cum s-a menționat anterior, de condiții specifice locale, cum ar fi nivelul mai mare de umiditate, contactul direct cu substanțe corozive sau defecte în acoperirea protectoare, produce deteriorări locale ale elementelor, în special a paletelor.
- O formă mai specială a coroziei localizate este corozie prin pitting, care se manifestă sub forma unor mici depresiuni sau puncte în suprafața materialului.
- În cazul unor temperaturi extreme sau tensionării mecanice exagerate, pot apărea deformări minore care, deși pot părea neînsemnate, pot afecta funcționalitatea hidroagregatului pe termen lung.

2. Aspecte generale privind repararea prin sudare a micilor defecte de pe suprafețele elementelor hidroagregatelor

Sudarea poate fi o metodă eficientă și viabilă pentru a remedia anumite defecte, dar este crucial să se efectueze corect și să se ia în considerare implicațiile asupra calității și siguranței hidroagregatului în ansamblu. Așadar, pentru început, trebuie efectuată o evaluare în detaliu a stării elementelor turbinei care trebuie reparate (de obicei, elementul cel mai afectat este paleta) pentru a identifica defectele sau zonele care necesită reparare.

Se vor identifica și marca toate fisurile, cavitățile produse de corozie sau alte probleme structurale. După analiza acestor imperfecțiuni sau defecte se decide asupra condițiilor tehnologice care sunt recomandate pentru procesul de reparare.

Principalele aspecte care trebuie luate în considerare la repararea prin sudare sunt legate de condițiile care trebuie asigurate și efectele aplicării procesului de sudare asupra ansamblului de elemente care compun hidroagregatul.

În primul rând, pentru a asigura o reparație corespunzătoare și durabilă, este esențial să se folosească un sudor calificat și experimentat în lucrul cu materialele și structurile specifice ale hidroagregatelor. El trebuie calificat conform condițiilor impuse de SR ISO 9606.

Un al doilea factor care condiționează reușita

- Fine cracks that can appear for various reasons, such as temperature variations or mechanical stress. They can become points characterized by mechanical weakening and, more than that, they can evolve over time into larger defects.
- Localized corrosion, generated, as previously mentioned, by specific local conditions, such as higher levels of humidity, direct contact with corrosive substances or defects in the protective coating, produces local damage to the elements, especially the vanes.
- A more special form of localized corrosion is pitting corrosion, which manifests itself as small depressions or points in the surface of the material.
- In the case of extreme temperatures or exaggerated mechanical stress, minor deformations may occur and affect the functionality of the hydro unit on long term.

2. General aspects regarding the repair by welding of small defects on the surfaces of hydro aggregates elements

Welding can be an effective and viable method to repair certain defects, but it is crucial that it is done correctly and that the implications for the quality and safety of the hydro unit as a whole are considered. So, to begin with, a detailed assessment of the condition of the turbine elements that need to be repaired (usually the most affected element is the blade) should be carried out to identify defects or areas that require repair. All cracks, cavities caused by corrosion or other structural problems shall be identified and marked. After analysing these imperfections or defects, it is decided on the technological conditions that are recommended for the repair process.

The main aspects that must be taken into account when repairing by welding are related to the conditions that must be ensured and the effects of applying the welding process on the set of elements that make up the hydro aggregate.

First, to ensure a proper and durable repair, it is essential to use a qualified welder experienced in working with the specific materials and structures of the hydro units. He must be qualified according to the conditions imposed by SR ISO 9606.

A second factor that conditions the success of

procesului de reparare prin sudare este compatibilitatea dintre materialele de adaos folosite pentru sudare și materialul de bază al hidroagregatului. O eventuală incompatibilitate va crea efecte metalurgice nedorite și eventual caracteristici fizico-chimico-mecanice nedorite.

Înainte de a aplica orice fel de procedură de sudare, trebuie să se evalueze impactul potențial asupra integrității și performanței structurale a hidroagregatului, în special în cazul unor componente critice.

În ceea ce privește aspectele tehnologice, o procedură de sudare ar trebui să înceapă cu partea de pregătire în vederea sudării. Suprafețele care vor participa la realizarea sudurii trebuie să fie complet curate de orice murdărie, grăsime, rugină sau alte contaminări care ar putea afecta calitatea sudurii. De asemenea, este important să se pregătească zona de sudare eliminând orice urmă de material deteriorat sau defect.

Procedeele de sudare poate fi unul care nu introduce o cantitate mare de căldură în materialul de bază, dar care, în același timp, este capabil să ofere o productivitate suficientă pentru a menține costurile sub control. De obicei procedeele de sudare cu arc electric, mai puțin sudarea sub strat de flux, care are limitări datorită energiei liniare mari, sunt aplicabile la punerea în operă a unei astfel de proceduri. Energia liniară este unul dintre factorii care pot avea un efect negativ asupra rezultatului acțiunii de reparare. O energie liniară prea mare poate reduce rezistența la coroziunea prin pitting, poate determina tensiuni și deformări remanente mari și, nu în ultimul rând o scădere a ductilității materialului prin creșterea granulației metalului depus. Așadar, trebuie aleasă și reglată (prin curentul de sudare și viteza de sudare) o energie liniară care să fie menținută la valori mai mici de 1,5 kJ/mm.

3. Tehnologia de reparare a suprafețelor unei palete de turbină Kaplan

3.1 Paleta unei turbine Kaplan

Cu o masă de aproximativ 20 de tone și dimensiuni de 4000 x 3000 mm, la o grosime de până la 200 mm, paleta de turbină Kaplan (figura 1), funcționând la puteri de aproximativ 150-170MW, este elementul de hidroagregat care suferă cele mai multe deteriorări datorită condițiilor de lucru. După un ciclu de câteva mii de ore de funcționare, pe bordul lateral, aflat în vecinătatea peretelui, apar zone afectate de coroziunea prin pitting (figura 2).

the welding repair process is the compatibility between the filler materials used for welding and the base material of the hydro aggregate. Any incompatibility will create undesirable metallurgical effects and possibly undesirable physico-chemical-mechanical characteristics.

Before applying any kind of welding procedure, the potential impact on the structural integrity and performance of the hydroelectric unit must be assessed, especially in the case of critical components.

In terms of technological aspects, a welding procedure should start with the welding preparation part. The surfaces that will participate in the welding must be completely clean of any dirt, grease, rust or other contamination that could affect the quality of the welding. It is also important to prepare the weld area by removing any traces of damaged or defective material.

The welding process may be one that does not introduce a large amount of heat into the base material, but which, at the same time, is capable of providing sufficient productivity to keep costs under control. Usually electric arc welding processes, less submerged arc welding, which has limitations due to high heat inputs, are applicable to the commissioning of such a procedure. Linear energy is one of the factors that can have a negative effect on the outcome of the repair action. Too much linear energy can reduce pitting corrosion resistance, cause high residual stresses and strains, and last but not least a decrease in material ductility by increasing the grain size of the deposited metal. Therefore, a linear energy must be chosen and adjusted (by welding current and welding speed) to be kept at values lower than 1.5 kJ/mm.

3. Kaplan turbine blade surface repair technology

3.1 The blade of a Kaplan turbine

With a mass of about 20 tons and dimensions of 4000 x 3000 mm, at a thickness of up to 200 mm, the Kaplan turbine runner blade (figure 1), which operates at powers of about 150-170 MW, is the hydro aggregate element that suffers most damage due to working conditions. After a cycle of several thousand hours of operation, areas affected by pitting corrosion appear on the side board, located in the vicinity of the wall (figure 2).



Fig. 1 Paletă de turbină Kaplan de 150 MW
Fig. 1 Kaplan runner blade of a 150 MW turbine

Efect similar se întâlnește și pe învelitoarea metalică a peretelui (figura 3), care este afectată mai intens datorită calității inferioare a oțelului din care este confecționată.

A similar effect is found on the metal cladding of the wall (figure 3), which is affected more intensively due to the lower quality of the steel it is made of.

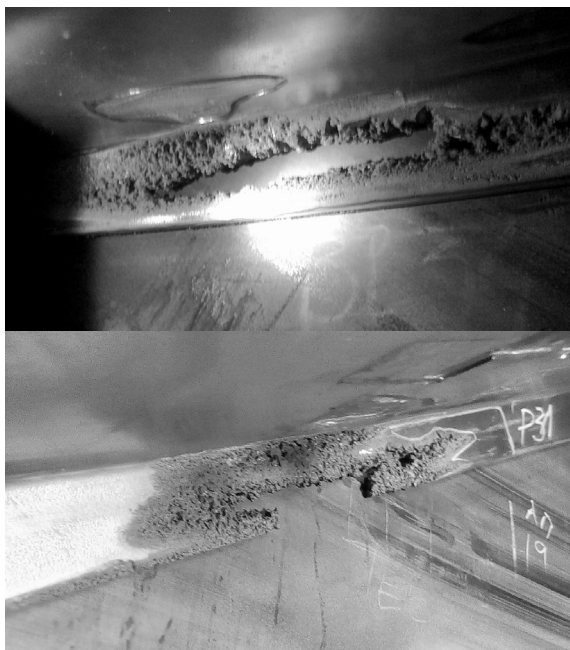


Fig. 2 Coroziune prin pitting pe suprafața paletelor
Fig. 2 Pitting corrosion on the runner blade surface



Fig. 3 Coroziune a învelitoarei metalice a peretelui
Fig. 3 Corrosion of the metal cover of the wall

Astfel de zone pot fi reparate prin sudare doar dacă nivelul coroziunii este unul redus. În situații similare celor din imaginile figurilor 2 și 3, doar înlocuirea unor părți ale elementelor respective poate rezolva situația. În cazul unor cavități de dimensiuni mici, încărcarea prin sudare este opțiunea ce mai potrivită pentru reparare.

Such areas can be repaired by welding only if the level of corrosion is low. In situations similar to those in the images of figures 2 and 3, only the replacement of parts of the respective elements can solve the situation.

For small cavities, welding loading is the most suitable option for repair.

3.2 Instrucțiuni de lucru

Inițial, se vor identifica imperfecțiunile de material și defectele (figura 4a.). Prin polizare se vor face excavări pentru eliminarea acestora, astfel încât să rezulte niște cavități cu muchii rotunjite (figura 4b.) [3].

3.2 Work Instructions

Initially, material imperfections and defects will be identified (figure 4a.). By polishing, excavations will be made to remove them, so that some cavities with rounded edges result (figure 4b.) [3].

Dacă există suspiciuni de existență a unor microfisuri, altele decât cele care sunt vizualizabile cu ochiul liber sau cu o lupă 10x, atunci se poate apela și la metode nedistructive de examinare pentru evidențierea acestora.

If there are suspicions of the existence of microcracks, other than those that are visible with the naked eye or with a 10x magnifying glass, then non-destructive examination methods can also be used to highlight them.

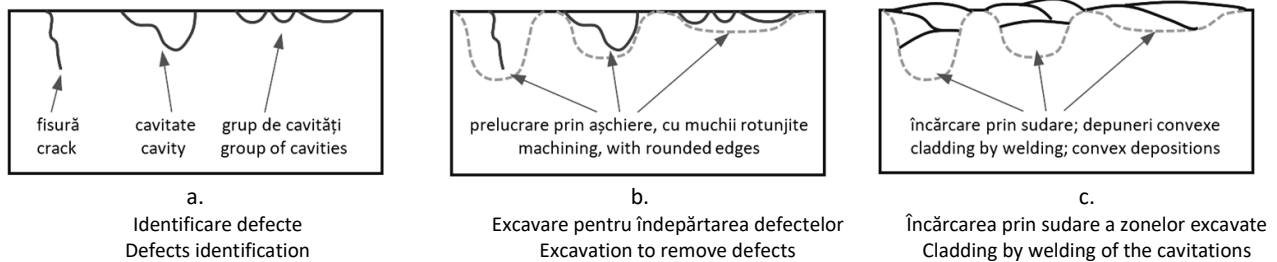


Fig. 4 Etapele reparării cavităților și fisurilor de suprafață
Fig. 4 Stages of repairing cavities and cracks on surface

Se vor curăța mecanic și chimic suprafețele acestor cavități și suprafețele învecinate lor, pentru îndepărtarea tuturor impurităților de suprafață, solide și lichide. Se va acorda o mare atenție existenței și îndepărtării grăsimilor [3].

The surfaces of these cavities and the surfaces adjacent to them will be mechanically and chemically cleaned to remove all surface impurities, solid and liquid. Great attention will be paid to the presence and removal of grease [3]. The welding area shall be preheated on an area that exceeds by approximately 200-250 mm the area to be repaired by welding.

Se va preîncălzi zona de sudare pe o suprafață care să depășească cu aproximativ 200-250 mm zona care trebuie reparată prin sudare. Temperatura de preîncălzire depinde de materialul paletelor. Cum majoritatea paletelor turbinelor Kaplan sunt confecționate din oțeluri martensitice rezistente la coroziune, cum sunt mărcile X5CrNi13 4 (1.4313) sau X4CrNi13 4 (1.4317), conform EN 10213, ale căror caracteristici compoziționale sunt prezentate în tabelul 1, atunci temperaturile de preîncălzire nu ar trebui să depășească 150°C, dar nici să nu fie mai mici de 100°C [3].

The preheating temperature depends on the paddle material. As most Kaplan turbine blades are made of corrosion-resistant martensitic steels such as X5CrNi13 4 (1.4313) or X4CrNi13 4 (1.4317) according to EN 10213, whose compositional characteristics are shown in Table 1, then the preheating temperatures should not to exceed 150°C, but not to be lower than 100°C [3].

Se vor efectua încărcările prin sudare cu arc electric, cavitățile umplându-se prin depuneri succesive, temperatura între straturi menținându-se la valoarea temperaturii de preîncălzire: max 150°C.

The loading will be carried out by electric arc welding, the cavities being filled by successive deposits, the temperature between the layers being maintained at the value of the preheating temperature: max 150°C.

Table 1. Compoziția chimică a unor oțeluri martensitice pentru paletel de turbine, % [4]
Table 1. Chemical composition of some martensitic steels for turbine blades, wt% [4]

GX4CrNi13-4 (1.4317): EN 10213-2007									
C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	V	Cu
max 0.06	max 1.0	max 1.0	3.5 – 5.0	max 0.035	max 0.025	12.0 - 13.5	max 0.7	max 0.08	max 0.3
GX5CrNi13-4 (1.4313): EN 10213-2007									
C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	N	
max 0.05	max 0.7	max 1.5	3.5 - 4.5	max 0.04	max 0.015	12.0 – 14.0	0.3 - 0.7	max 0.02	

Sudarea se poate realiza prin procedeul WIG, MIG sau MIG cu sârmă tubulară (FCAW). În cazul sudării WIG gazul de protecție este 100%Ar, pe când în cazul MIG sau MIG cu sârmă tubulară se va realiza un amestec de argon cu aproximativ 2-3% oxigen. Fiind vorba despre materiale de bază cu un conținut de carbon asemănător oțelurilor

Welding can be done by TIG, MIG or MIG with tubular wire (FCAW). In the case of TIG welding, the shielding gas is 100%Ar, while in the case of MIG or MIG with tubular wire, a mixture of argon with approximately 2-3% oxygen will be produced. As these are base materials with a carbon content similar to austenitic stainless

inoxidabile austenitice, adică foarte mic, adaosul de CO₂ în gazul de protecție nu este recomandat. Eventual, dacă sârma tubulară utilizată reușește, prin elementele ei chimice, să lege carbonul înaintea cromului, atunci la procedeul MIG cu sârmă tubulară se pot utiliza și amestecuri de tip Ar+CO₂, dar cu mai puțin de 8%CO₂ [3]. Materialul de adaos pentru prima trecere va trebui să fie un oțel inoxidabil austenitic cu adaos de mangan, de tip 309L sau G 23 12 L Si conform EN ISO 14343-A (Tabel 2). Se realizează practic un strat tampon pe suprafața oțelului martensitic, pentru a proteja materialul de bază împotriva difuziei de carbon din depunerile următoare. Trecherile de umplere, în cazul defectelor identificate pe suprafața superioară, supusă la presiuni mari, se vor realiza cu un oțel austenito-ferritic duplex de tip X2Cr-Ni-MoN22-5-3 / 1.4462 conform UNS S31803 (Tabel 2) sau cu un oțel inoxidabil mai apropiat de compoziția chimică a materialului de bază: X4CrNiMo13-4 / 1.4317 conform EN 10213-2007 (Tabel 1). În cel de-al doilea caz stratul tampon nu mai este necesar. Trecherile de umplere, în cazul defectelor identificate pe suprafața inferioară, supusă la presiuni mici, dar predispusă la apariția fenomenului de cavitație, se vor realiza cu un oțel rezistent la uzare prin abraziune sau degradare chimică de tip stelit, AWS A5.21 / ASME BPVC IIC SFA 5.21 ERCCoCr-A. În acest caz, datorită conținutului ridicat de carbon al acestuia (Tabel 2) este necesară realizarea stratului tampon.

steels, i.e. very low, the addition of CO₂ to the shielding gas is not recommended. Possibly, if the tubular wire used manages, through its chemical elements, to bind carbon before chromium, then Ar+CO₂ type mixtures can also be used in the MIG process with tubular wire, but with less than 8% CO₂ [3]. The filler material for the first pass will have to be an austenitic stainless steel with added manganese, type 309L or G 23 12 L Si according to EN ISO 14343-A (Table 2). A buffer layer is practically created on the surface of the martensitic steel, to protect the base material against carbon diffusion from subsequent deposits. The filling passes, in case of defects identified on the upper surface, subjected to high pressures, will be made with a duplex austenite-ferritic steel of type X2Cr-Ni-MoN22-5-3 / 1.4462 according to UNS S31803 (Table 2) or with a stainless steel closer to the chemical composition of the base material: X4CrNiMo13-4 / 1.4317 according to EN 10213-2007 (Table 1). In the second case the buffer layer is no longer necessary. The filling passes, in the case of defects identified on the lower surface, subjected to low pressures, but prone to the occurrence of the cavitation phenomenon, will be made with a steel resistant to wear by abrasion or chemical degradation of the stellite type, AWS A5.21 / ASME BPVC IIC SFA 5.21 ERCCoCr-A. In this case, due to its high carbon content (Table 2), it is necessary to make the buffer layer.

Tabel 2. Compoziția chimică a unor oțeluri recomandate ca materiale de adaos pentru încărcarea prin sudare, % [4]
Table 2. Chemical composition of some steels recommended as filler metal for cladding by welding, wt% [4]

G 23 12 L Si (309L): EN ISO 14343-A									
C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Mo	Cu	
max 0.03	1.0-2.5	0.30-0.65	23-25	12-14	max 0.03	max 0.03	max 0.75	max 0.75	
X2Cr-Ni-MoN22-5-3 (1.4462): UNS S31803									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	
max 0,030	max 1,00	max 2,00	max 0,035	max 0,015	21,0-23,0	4,5-6,5	2,50-3,50	0,10-0,22	
ERCCoCr-A: AWS A5.21 / ASME BPVC IIC SFA 5.21									
Co	Cr	W	C	Alte / Others					
Bază / Base	27-32	3-6	0.9-1.4	Ni, Fe, Si, Mn, Mo					

Parametrii de sudare trebuie astfel aleși încât energia liniară să fie mai mică decât 1,5 kJ/mm. Chiar și această valoare se poate dovedi uneori mare, la încercarea de coroziune prin pitting efectuată cu clorură ferică (ASTM G48 Metoda C: 68,72 g clorură ferică / 25°C FeCl₃•6H₂O (în 600 ml H₂O) + 16 ml HCl (36,5–38,0 %)) putând apărea corodări ale metalului depus. Pentru siguranța evitării acestui proces de coroziune, ar trebui ca energia liniară să atingă maximumul de 1,5 kJ/mm

The welding parameters must be chosen so that the linear energy is less than 1.5 kJ/mm. Even this value can sometimes turn out to be high, in the ferric chloride pitting test (ASTM G48 Method C: 68.72 g ferric chloride / 25°C FeCl₃•6H₂O (in 600 ml H₂O) + 16 ml HCl (36.5–38.0 %)) and corrosion of the deposited metal may occur. For the safety of avoiding this corrosion process, the linear energy should reach the maximum of 1.5 kJ/mm only in

doar în cazuri extreme, fiind o valoare maximă de excepție. O soluție facil de aplicat este sudarea în curent pulsant, unde se poate coborî energia liniară destul de mult, fără a se afecta stabilitatea procesului de sudare și fără a avea stropiri. În tabelul 3 sunt prezentate propuneri de valori ale parametrilor tehnologici.

extreme cases, being a maximum exceptional value. An easy-to-apply solution is pulsed current welding, where the linear energy can be lowered quite a lot, without affecting the stability of the welding process and without spatter. Table 3 presents proposed values of the technological parameters.

Tabel 3. Valori ale parametrilor de sudare utilizabile la încărcarea prin sudare [3]
Table 3. Values of welding parameters usable in a cladding by welding process, wt% [3]

Procedeu WIG / TIG process, 100%Ar, 6-8 l/min, PA					Procedeu MIG / MIG process, pulsant, Ar+(2-4)%O ₂ , 12-15 l/min, PA				
d _{baghetă} d _{wire} [mm]	d _{electrod_W} d _{W_electrode} [mm]	Curent Current I _s [A]	Tensiune Voltage U _a [mm]	Viteză Speed v _s [mm]	d _{wire} [mm]	Curent Current I _s [A]	Tensiune Voltage U _a [mm]	Viteză Speed v _s [mm]	Pendulare Weaving d _{pend} [mm]
3.0	2.4-3.0	100-180	10-18	12-14	1.2	120-160	21-24	14-16	max 3
Energia liniară / Heat input [kJ/mm]: 0.5-1.39					Energia liniară / Heat input [kJ/mm]: 1.08-1.44				
În ambele situații se recomandă mărirea cu 1-3 V a tensiunii arcului pentru reducerea pătrunderii și pentru extinderea băii, dar cu atenție mărită la apariția creștăturilor marginale. In both situations, it is recommended to increase the arc voltage by 1-3 V to reduce penetration and to expand the bath, but with increased attention to the appearance of undercuts.									

4. Concluzii

Elementele hidroagregatelor energetice și în special paletetele turbinelor sunt supuse unor procese de uzare, de eroziune, de cavitație și de coroziune de mai multe tipuri, datorită condițiilor de funcționare. Repararea acestor elemente prin sudare este o opțiune viabilă, dat fiind costul extrem de ridicat al unei astfel de componente. Se pot utiliza procedee de sudare cu arcul electric, în condiția menținerii sub valoarea de 1,5 kJ/mm a energiei liniare. Pregătirea în vederea sudării este importantă, defectele de suprafață trebuind a fi scoase prin excavare. Materialele de adaos trebuie să îndeplinească cerințe ale condițiilor de funcționare, fiind uneori necesară realizarea unor straturi tampon dacă materialul de adaos are un conținut de carbon mai mare decât materialul de bază. Sudarea în curent pulsant este recomandată. Temperaturile de preîncălzire și inter-strat nu trebuie să depășească 150°C.

4. Conclusions

The elements of hydropower units and especially the blades of the turbines are subject to wear, erosion, cavitation and corrosion processes of several types, due to the operating conditions. Repairing these elements by welding is a viable option given the extremely high cost of such a component. Arc welding processes can be used, provided the linear energy is kept below 1.5 kJ/mm. Preparation for welding is important, surface defects need to be removed by excavation. The filler materials must meet the requirements of the operating conditions, sometimes it is necessary to make buffer layers if the filler material has a higher carbon content than the base material. Pulsed current welding is recommended. Preheat and inter-layer temperatures must not exceed 150°C.

Bibliografie References

- [1] Rati Kanta Mohanta, et.al, Sources of vibration and their treatment in hydro power stations, A review Eng. Sci. and Tech. an Int. J. 20(2), November 2016
- [2] Bălăușescu, I., Analiza de vibrații în procesul de urmărire a stării de bună funcționare a hidroagregatelor, teză de doctorat, UPB, 2018
- [3] Savu, I. D., 2010. Sudabilitatea materialelor ingineresti. Oțeluri și fonte, Editura Universitaria, ISBN 978-606-510-972-8
- [4] *** - http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=384, vizualizat la 21.11.2023

Pentru citare:

Țunescu, T., Ștefan, I., Savu, I.D., Repair by welding of small-sized defects in hydropower units, Sudura, nr. 4 (2023), year XXXIII, x-y