

TENDINȚE ÎN TEHNOLOGIE ȘI INSTRUIRE TRENDS IN TECHNOLOGY AND TRAINING

Profesia de sudor – încotro?

The welding profession – where is it going?

Ionel-Dănuț Savu¹

¹Universitatea din Craiova/University of Craiova

Rezumat

Profesia de sudor, considerată indispensabilă în multe industrii, se află într-un proces de transformare semnificativă, influențată de automatizare, digitalizare și cerințele de sustenabilitate. Conform raportului Future of Jobs Report 2025 al World Economic Forum, pentru prima dată, meseria de sudor înregistrează o scădere a cererii de forță de muncă, tendință determinată de avansul tehnologic.

Automatizarea și inteligența artificială (AI) modifică profund procesul de sudare. Roboții de sudare echipați cu senzori și AI pot detecta erori și ajusta parametrii de lucru în timp real, reducând intervenția umană. Sudorii trebuie să-și dezvolte competențe digitale, să învețe programarea roboților și să lucreze cu interfețe Realitate virtuală (VR) / Realitate augmentată (AR).

Tehnologiile sustenabile joacă un rol tot mai important, impunând utilizarea materialelor reciclate și a consumabilelor ecologice. În paralel, fabricarea aditivă (Fabricație Aditivă cu Sârmă topită în Arc - WAAM) și sudarea hibridă laser-MIG/MAG schimbă metodele tradiționale de fabricație.

Această tranziție necesită formare continuă pentru sudori, care trebuie să își extindă abilitățile în mecatronică, automatizări și analiza datelor. Se conturează noi profesii precum operator sudare robotică adaptivă, specialist în sudare ecologică, programator overlay AI și dezvoltator VR/AR pentru formarea sudorilor.

În diverse industrii – auto, aeronautică, construcții navale, energie – sudorii viitorului vor lucra cu echipamente avansate, unde precizia, eficiența energetică și sustenabilitatea devin criterii esențiale. Tranziția tehnologică va necesita o recalificare rapidă a forței de muncă, iar succesul acestei schimbări va depinde de adaptabilitatea și deschiderea către noile tehnologii.

Cuvinte cheie

Profesia de sudor, profesii emergente, competențe digitale, robotizare, inteligență artificială, fabricație aditivă, VR/AR

Abstract

The welding profession, considered indispensable in many industries, is undergoing a significant transformation, influenced by automation, digitalization and sustainability requirements. According to the World Economic Forum's Future of Jobs Report 2025, for the first time, the welding profession is experiencing a decline in labour demand, a trend driven by technological advances.

Automation and artificial intelligence (AI) are profoundly changing the welding process. Welding robots equipped with sensors and AI can detect errors and adjust work parameters in real time, reducing human intervention. Welders must develop digital skills, learn robot programming and work with Virtual Reality (VR) /Augmented Reality (AR) interference.

Sustainable technologies are playing an increasingly important role, requiring the use of recycled materials and environmentally friendly consumables. In parallel, additive manufacturing (Wire Arc Additive Manufacturing - WAAM) and hybrid laser-MIG/MAG welding are changing traditional manufacturing methods.

This transition requires training for welders who must continue to expand their skills in mechatronics, automation and information. New professions are emerging such as adaptive robotic welding operator, green welding specialist, AI overlay programmer and VR/AR developer for welder training.

In various industries – automotive, aeronautics, shipbuilding, energy – welders of the future will work with advanced equipment, where precision, energy efficiency and sustainability become essential criteria. The technological transition will require a rapid retraining of the workforce, and the success of this change will depend on adaptability and openness to new technologies.

Keywords

Welding profession, emerging professions, digital skills, robotics, artificial intelligence, additive manufacturing, VR/AR

1. Introducere

Ne-am obișnuit să privim și să vorbim despre meseria de sudor ca despre o meserie indispensabilă majorității domeniilor industriale. Ne-am obișnuit să vedem în profesia de sudor acea profesie care produce 70-80% din volumul de manoperă din costul unui produs al domeniului construcțiilor metalice. Ne-am obișnuit să vedem în lista de posturi vacante a unui șantier naval sau a unui producător de recipiente sub presiune sau a unui producător de material rulant, cifre mari privind necesarul de posturi de sudor. Ne-am obișnuit să auzim constant la posturile radio solicitări de personal din domeniul sudării, venind dinspre diverse companii locale, regionale sau internaționale. Ne-am obișnuit să auzim o aceeași poveste a ultimilor 20 de ani în care sudorii migrează continuu către companii străine pentru venituri mai mari, fiindcă, nu-i așa, meseria de sudor nu o poate face oricine și resursa în acest domeniu este în continuă scădere.

Această stare de fapt a existat și încă persistă. Vântul schimbării, însă, arată noi imagini ale viitorului. Poate pentru prima dată de la apariția profesiei de sudor identificăm schimbări în comportamentul producătorilor de structuri sudate, schimbări care afectează imaginea de „dorită” a profesiei de sudor. Poate cel mai relevant semn, provenind de la una dintre cele mai avizate surse, este evaluarea evoluției posturilor create și desființate efectuată de World Economic Forum (WEF). În raportul său Future of Jobs Report 2025 [1] din ianuarie 2025, WEF prezintă mai multe studii efectuate în 2024 cu privire la evoluția necesarului de posturi, a necesarului de competențe, a necesarului de instruire, precum și la evoluția transformărilor industriale aflate în curs. Poate pentru prima dată în istoria profesiei de sudor, aceasta este înregistrată cu un scor negativ în ceea ce privește crearea de posturi dedicate (figura 1).

Scăderea nu este mare, dar faptul că este o scădere și nu o constanță sau o creștere, așa cum eram obișnuiți, relevă tendința schimbărilor susținute de noile tehnologii sau chiar și de tehnologiile emergente (acestea deși nu influențează în mod direct starea sistemelor de fabricație, produc influențări ale predicțiilor privind starea viitoare a unui sistem de fabricație).

Cauzele acestei schimbări nu sunt specificate în mod concret în raportul WEF, dar ele se pot intui, bazându-ne pe simpla observație a tendințelor tehnologice. Viitorul meseriei de sudor este și va continua să fie influențat de mai mulți factori, printre care au-

1. Introduction

We have become accustomed to looking at and talking about the welding profession as an indispensable profession for most industrial fields. We have become accustomed to seeing in the welding profession that profession that produces 70-80% of the labour volume of the cost of a product in the field of metal construction. We have become accustomed to seeing in the vacancy list of a shipyard or a pressure vessel manufacturer or a rolling stock manufacturer, large figures regarding the need for welding positions. We have become accustomed to constantly hearing on the radio stations requests for personnel in the welding field, coming from various local, regional or international companies. We have become accustomed to hearing the same story of the last 20 years in which welders continuously migrate to foreign companies for higher incomes, because, isn't that right, not everyone can do the welding profession and the resource in this field is constantly decreasing.

This state of affairs has existed and still persists. The winds of change, however, show new images of the future. Perhaps for the first time since the emergence of the welding profession, we identify changes in the behaviour of manufacturers of welded structures, changes that affect the "desirable" image of the welding profession. Perhaps the most relevant sign, coming from one of the most informed sources, is the assessment of the evolution of jobs created and abolished by the World Economic Forum (WEF). In its Future of Jobs Report 2025 [1] of January 2025, the WEF presents several studies conducted in 2024 on the evolution of job needs, skills needs, training needs, as well as the evolution of ongoing industrial transformations. Perhaps for the first time in the history of the welding profession, it is recorded with a negative score in terms of the creation of dedicated jobs (figure 1).

The decrease is not large, but the fact that it is a decrease and not a constant or increase, as we were used to, reveals the trend of changes supported by new technologies or even emerging technologies (although these do not directly influence the state of manufacturing systems, they do influence predictions regarding the future state of a manufacturing system).

The reasons for this change are not specifically specified in the WEF report, but they can be inferred based on the simple observation of technological trends. The future of the welding profession is and will continue to be influenced by several factors,

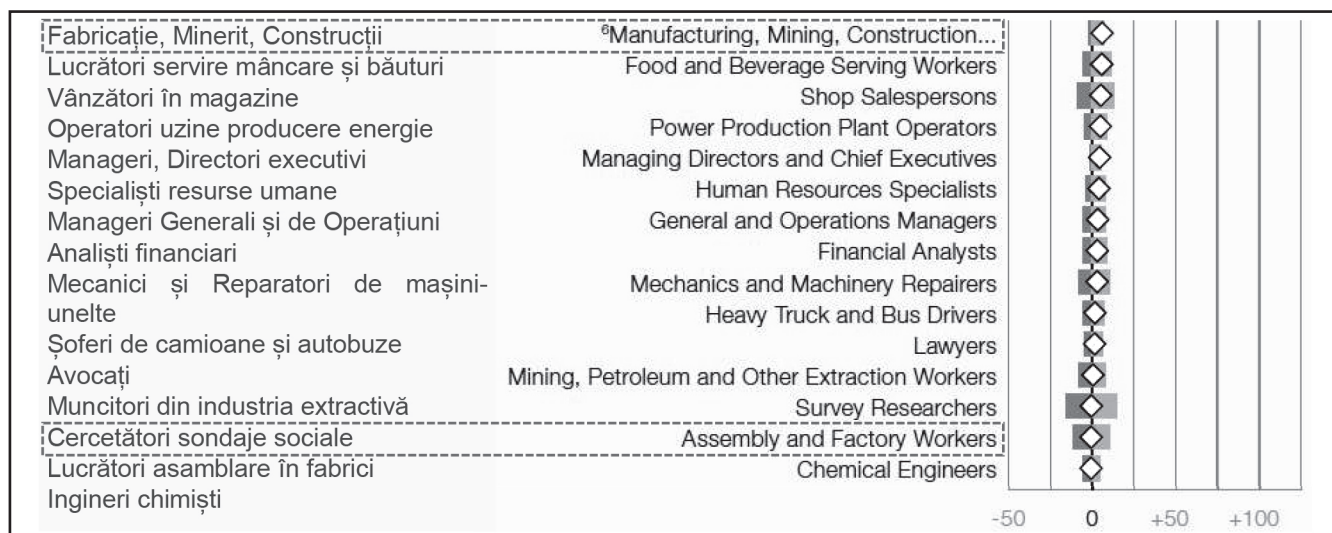


Figura 1. Cotarea în domeniul negativ al profesiilor legate de asamblare în fabrici [1]

Figure 1. Negative ranking of factory assembly professions [1]

tomatizarea, digitalizarea, noile materiale implicate și cerințele crescânde privind sustenabilitatea.

Utilizarea roboților pentru sudare nu este o noutate pentru cei apropiați de fabricația prin sudare. Dar utilizarea de roboți echipați cu senzori inteligenți și inteligență artificială (AI) pentru reglarea automată a parametrilor de sudare este o noutate care elimină și mai mult din intervenția factorului uman, prezent în calitate de operator robot și/sau supravegheator de proces. Pentru aplicațiile AI implementate în funcționarea acestor roboți, detectarea ieșirilor din starea prescrisă de funcționare, precum și detectarea imperfecțiunilor produse în timpul procesului, se întâmplă în timp real și comandă, tot în timp real și reglarea automată a arcului sau a modului de conducere a procesului.

Dezvoltarea procedeelor hibride de sudare, cum este familia de tehnologii cu surse termice combinate laser – arc, precum și a noilor tehnologii de sudare pentru fabricație aditivă (Wire Arc Additive Manufacturing - WAAM), rescriu atât nivelul de implicare a sudorului cât și tipurile de cunoștințe și abilități necesare acestuia în vederea operării.

Experiența ultimilor ani arată că operarea sistemelor de sudare în regim automat sau robotizat, unde sudorul devine mai mult un programator și supervisor decât un muncitor care execută manual sudurile, impune sudorului să aibă competențe despre care în urmă cu 10 ani nici nu se vorbea. Tranziția către noul mediu tehnologic avansat cere deja sudorilor:

- să își dezvolte noi abilități digitale în direcția familiarizării cu software de programare a roboților și cu interfețele VR/AR
- să aibă cunoștințe despre senzori și despre

including automation, digitalization, new materials involved and increasing sustainability requirements. The use of robots for welding is not new to those familiar with welding manufacturing. But the use of robots equipped with smart sensors and artificial intelligence (AI) for automatic adjustment of welding parameters is a novelty that further eliminates the intervention of the human factor, present as a robot operator and/or process supervisor. For AI applications implemented in the operation of these robots, the detection of possible departures from the prescribed operating state, as well as the detection of imperfections produced during the process, occurs in real time and the control, also in real time, of the automatic adjustment of the electric arc or the process control mode.

The development of hybrid welding processes, such as the family of technologies with combined laser-arc heat sources, as well as new welding technologies for additive manufacturing (Wire Arc Additive Manufacturing - WAAM), is rewriting both the level of welder involvement and the types of knowledge and skills required for operation.

The experience of recent years shows that the operation of welding systems in automatic or robotic mode, where the welder becomes more of a programmer and supervisor than a worker who manually performs the welds, requires the welder to have skills that were not even discussed 10 years ago. The transition to the new advanced technological environment already requires welders to:

- to develop new digital skills in the direction of familiarizing themselves with robot programming software and VR/AR interfaces

modul în care funcționează tehnologia AI implicată în noile clase de echipamente

- să funcționeze în echipe interdisciplinare, colaborând direct cu inginerii de programare, tehnicienii în automatizări, precum și cu specialiștii în materiale avansate.

Toate acestea trebuie să se întâmple în paralel cu un proces de formare continuă, aceasta fiind singura opțiune prin care sudorii vor putea ține pasul cu noile tehnologii. O a doua schimbare majoră în sistemele de sudare, aflată în plină desfășurare, este cea legată de noile cerințe ecologice (producție ecologică și sustenabilă – consumuri reduse, emisii reduse, reciclare de materiale). Iar aici, după o luptă de zeci de ani cu emisiile de fum, pierderile de energie prin căldura radiată și pierderile de material prin stropire, cerințele pentru utilizarea unor materiale sustenabile este din ce în ce mai mare. Prin ce s-ar traduce această necesitate de utilizare de materiale sustenabile? În primul rând printr-o utilizare mai intensă a materialelor reciclate pentru confecționarea materialelor de adaos. În al doilea rând, printr-o utilizare mai intensă a unor componente din compoziția materialelor de adaos care emit mai puțin fum prin ardere. Și nu în ultimul rând, eliminarea din compozițiile chimice ale materialelor de adaos a elementelor chimice recunoscute ca având potențial toxic (plumb, mercur, arsen, cadmiu și altele). În același timp se poate vorbi și despre o schimbare în ceea ce privește materialele de bază, în sensul utilizării de materiale mai ușoare și mai rezistente și care, dacă este posibil, să aibă capacitatea de a fi topite mai ușor. Această capacitate nu înseamnă neapărat o temperatură de topire mai redusă, aceasta fiind o caracteristică extrem de dificil de realizat, dar poate însemna o conductibilitate termică mai redusă a materialului. O conductibilitate termică redusă înseamnă menținerea locală a căldurii, cu efect într-o topire mai rapidă a materialului.

Constatăm mai sus faptul că procesele de formare continuă a sudorilor trebuie să însoțească orice schimbare care are loc în eco-sistemul de activitate a sudorului. Aceasta ne-ar putea duce cu gândul la un consum suplimentar de energie, de materiale și de timp pe care trebuie să ni-l asumăm pentru ca sudorii să rămână în tendința tehnologică. Este o concluzie parțial adevărată, astăzi integrarea realității augmentate (AR) și realității virtuale (VR) putând reduce mult consumurile cu materialele și energia în cadrul activităților de instruire a sudorilor.

Instruirea practică, dar uneori și teoretică, bazată pe tehnologiile VR/AR, unde viitorii sudori învață într-un

- have knowledge about sensors and how AI technology involved in new classes of equipment works
- to work in interdisciplinary teams, collaborating directly with programming engineers, automation technicians, as well as advanced materials specialists.

All of this must happen in parallel with a continuous training process, this being the only option through which welders will be able to keep up with new technologies.

A second major change in welding systems, which is in full swing, is that related to the new ecological requirements (ecological and sustainable production – reduced consumption, reduced emissions, recycling of materials). And here, after a decades-long struggle with smoke emissions, energy losses through radiated heat and material losses through spatter, the requirements for the use of sustainable materials are increasingly greater. What would this need for the use of sustainable materials translate into? First of all, through a more intensive use of recycled materials for the manufacture of filler materials. Second, through a more intensive use of components in the composition of filler materials that emit less smoke when burned.

And last but not least, the elimination from the chemical compositions of filler materials of chemical elements recognized as having toxic potential (lead, mercury, arsenic, cadmium and others).

At the same time, we can also talk about a change in the basic materials, in the sense of using lighter and more resistant materials and which, if possible, have the ability to be melted more easily. This ability does not necessarily mean a lower melting temperature, which is an extremely difficult characteristic to achieve, but it can mean a lower thermal conductivity of the material. A reduced thermal conductivity means the local maintenance of heat, with a direct effect in a faster melting of the material.

We noted above that the continuous training processes of welders must accompany any change that occurs in the welder's activity eco-system. This could lead us to think of an additional consumption of energy, materials and time that we must assume for welders to remain in the technological trend.

This is a partially true conclusion, today the integration of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) can greatly reduce the consumption of materials and energy in welder training activities.

Practical, but sometimes also theoretical, training based on VR/AR technologies, where future welders learn in a safe digital environment, without the risk

mediu digital sigur, fără riscuri de arsuri sau inhalare de fum, este o opțiune utilizată deja în multe dintre mediile de învățare.

Pornind de la aceste premise deja existente ca manifestare este posibilă o estimare oarecum fidelă a ceea ce va trebui să însemne sudorul în următorii 5-10 ani:

- să aibă cunoștințe de operare robotică adaptivă, controlând și monitorizând roboții de sudare cu AI
- să fie familiarizat cu utilizarea tehnologiei AR pentru a citi și modifica date și instrucțiuni superpuse direct pe vizorul măștii de protecție
- să fie familiarizat cu utilizarea în timpul sudării a unor metode lucru și materiale sustenabile
- să fie familiarizat cu aplicarea tehnologiilor de fabricare aditivă.

Privind către domeniile în care se întrevăd transformări în ceea ce privește caracteristicile lucrărilor de sudare, viitorul meseriei de sudor în funcție de domeniu ar putea arăta astfel:

- în industria auto și aeronautică tendințele actuale relevă o potențială mutare a centrului utilizare către sudarea de mare precizie cu fascicul laser și/sau fascicul de electroni
- în construcțiile navale și infrastructură sudarea structurilor mari se va realiza în viitor folosind preponderent sisteme robotizate, chiar și pentru suduri scurte și nerepetitive
- în industria producerii energiei și petrol & gaze se va beneficia de o automatizare completă a operațiilor de sudare, atunci când este vorba despre medii periculoase sau submarine
- în domeniul fabricării aditive și a reparațiilor pentru corectarea unor forme și dimensiuni imprimarea 3D va ajunge să fie considerată un standard pentru majoritatea opțiunilor/soluțiilor de întreținere a componentelor critice.

2. Evoluția necesităților privind abilitățile și cunoștințele sudorilor

Pe măsură ce tehnologia avansează, industria construcțiilor sudate impune noi cerințe pentru personalul calificat. În trecut, abilitățile principale ale sudorului includeau tehnicile manuale și cunoștințele practice despre echipamentele tradiționale. În prezent, tendințele în automatizare, digitalizare și sustenabilitate cer sudorilor, așa cum scriam pe scurt mai sus, abilități avansate în programare, analiză a datelor, control al calității și utilizarea inteligenței artificiale. Astfel, în funcție de evoluția echipamentelor și tehnologiilor, personalul sudor trebuie să

of burns or smoke inhalation, is an option already used in many learning environments.

Starting from these already existing premises as a manifestation, it is possible to make a somewhat accurate estimate of what the welder will have to mean in the next 5-10 years:

- have knowledge of adaptive robotics operation, controlling and monitoring welding robots with AI
- be familiar with using AR technology to read and adjust data and instructions superimposed directly on the visor of the protective mask
- be familiar with the use of sustainable working methods and materials during welding
- be familiar with the application of additive manufacturing technologies.

Looking at the areas where transformations are foreseen in terms of the characteristics of welding, the future of the welding profession depending on the field could look like this:

- In the automotive and aeronautical industries, current trends reveal a potential shift in usage towards high-precision laser and/or electron beam welding.
- in shipbuilding and infrastructure, welding of large structures will in the future be carried out predominantly using robotic systems, even for short and non-repetitive welds
- in the power generation and oil & gas industries, there will be a benefit from complete automation of welding operations, when it comes to hazardous or underwater environments
- In the field of additive manufacturing and repairs for correcting certain shapes and sizes, 3D printing will come to be considered a standard for most critical component maintenance options/solutions.

2. Evolution of welder skill and knowledge needs

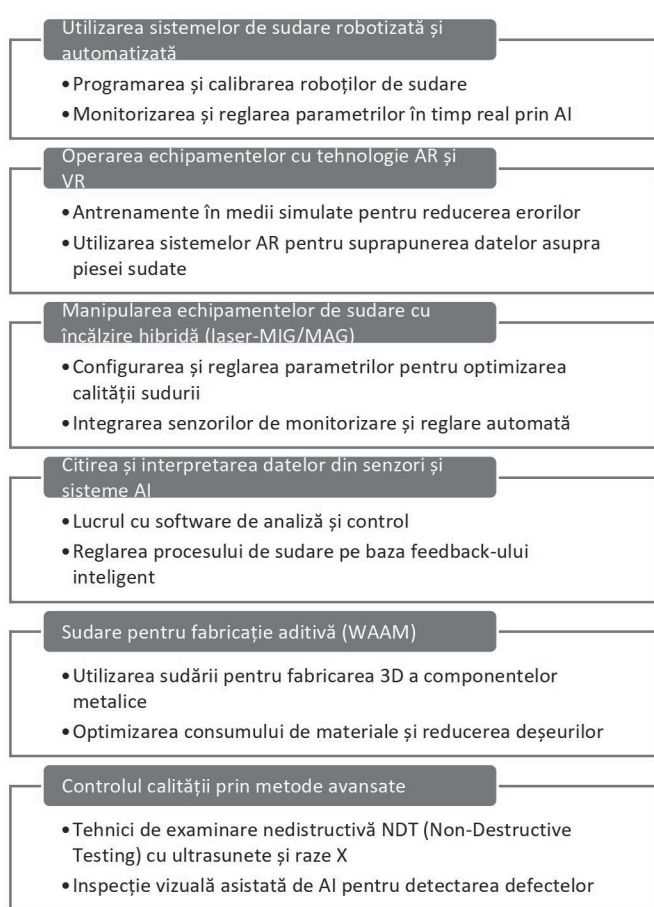
As technology advances, the welded construction industry is placing new demands on skilled personnel. In the past, the welder's core skills included manual techniques and practical knowledge of traditional equipment. Today, trends in automation, digitalization, and sustainability require welders to have advanced skills in programming, data analysis, quality control, and the use of artificial intelligence, as briefly outlined above.

Thus, depending on the evolution of equipment and technologies, the personnel working in the field of

dobândească noi competențe în domenii precum mecatronică, programare și realitate augmentată.

welding must acquire new skills in areas such as mechatronics, programming and augmented reality.

A. Abilități tehnice



A. Technical skills

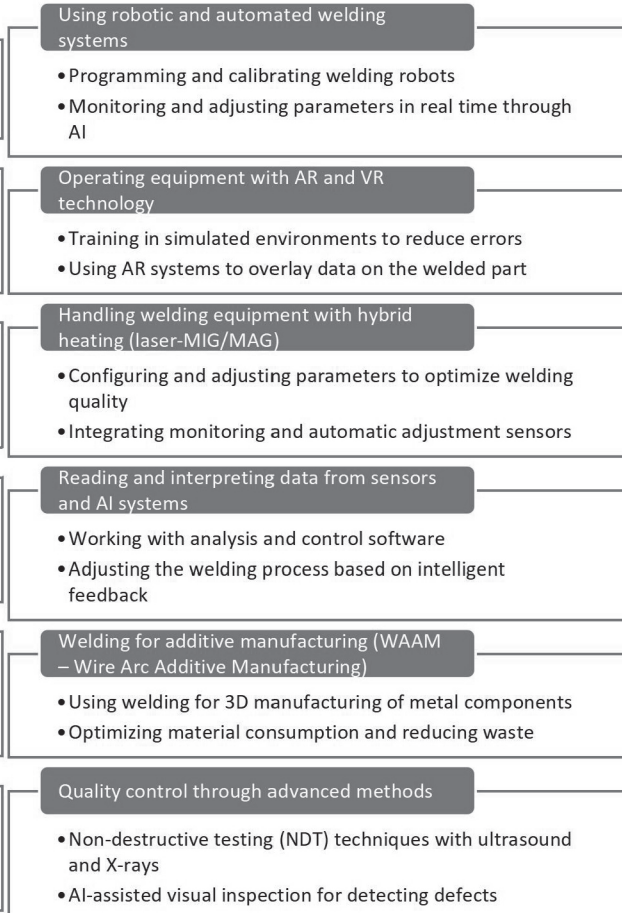
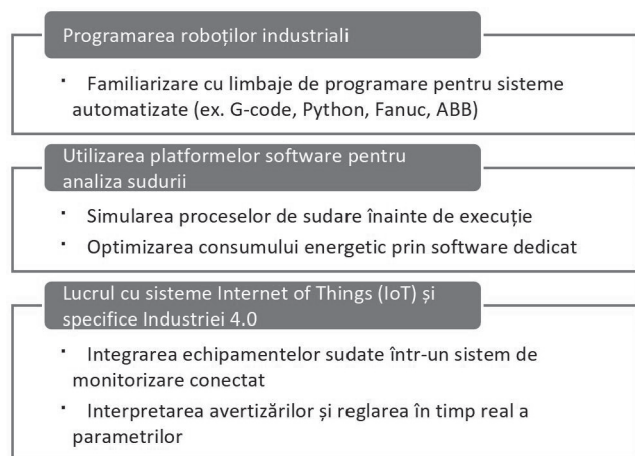


Figura 2. Abilități tehnice necesare

Figure 2. Technical skills required

B. Abilități digitale și de programare



B. Digital and programming skills

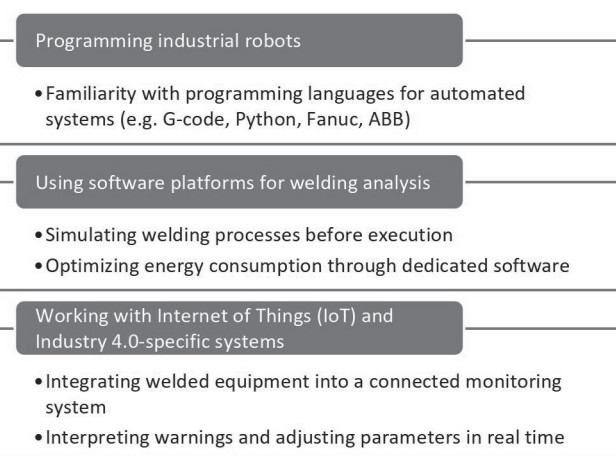
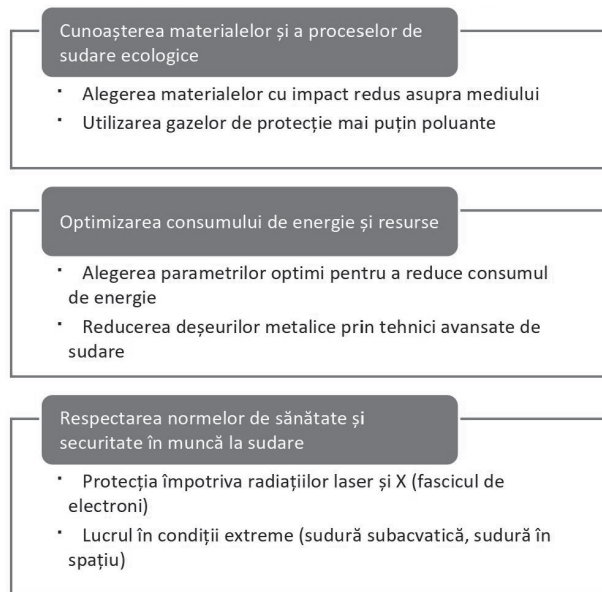


Figura 3. Abilități digitale și de programare necesare

Figure 3. Digital and programming skills required

C. Abilități legate de sustenabilitate și siguranță



C. Sustainability and safety skills

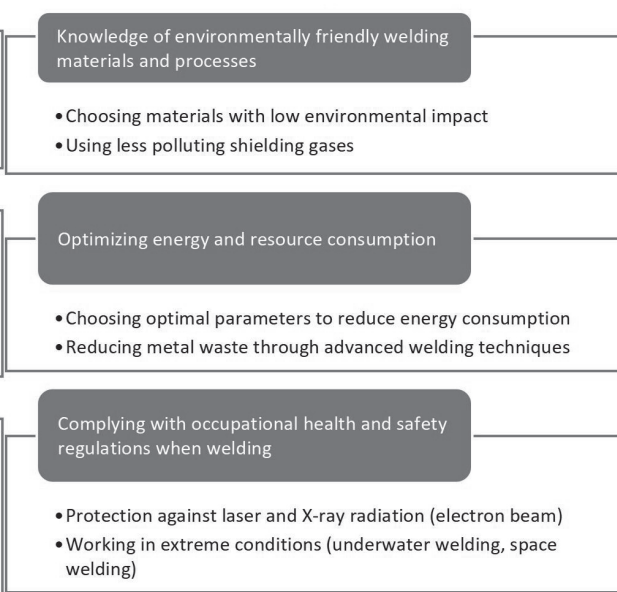


Figura 4. Abilități legate de sustenabilitate și siguranță necesare

Figure 4. Sustainability and safety skills needed

Necesitatea acestor competențe decurge natural din cerințele impuse de echipamentele moderne și de nivelul de calitate solicitat pentru construcțiile sudate. Echipamentele moderne și tehnologiile implicate în acestea au fost menționate mai sus, ele vizând în principal:

- utilizarea roboților cu sau fără AI utilizabili în procesele de sudare sau în procesele aferente sudării (prelucrarea rosturilor, curățarea zonelor de sudare, tratamente termice etc.) impunând personal operator calificat în programare și mentenanță
- utilizarea tehnologiilor AI și a senzorilor de control, datele oferite de aceste tehnologii trebuind să fie interpretate de către operatori, în vederea optimizării proceselor
- utilizarea sistemelor de sudare hibridă, situație în care sudorii trebuie să înțeleagă interacțiunea între diferite procese
- utilizarea de echipamente AR/VR pentru operare, dar și pentru antrenament, aceasta impunând competențe în interacțiunea cu medii virtuale și utilizarea interfețelor inteligente.

În ceea ce privește nivelul de calitate care va fi cerut în construcții și industrie, se întrevide impunerea unor toleranțe mai stricte și cerințe de precizie mai ridicate, roboții de sudare și tehnologiile AI permițând suduri a căror calitate se apropie de ideal și reducând erorile umane.

3. Viitoarele profesii potențiale în domeniul sudării

Pe baza cerințelor enunțate mai sus și a tendințelor

The need for these skills naturally arises from the requirements imposed by modern equipment and the level of quality required for welded constructions. The modern equipment and technologies involved in them were mentioned above, mainly targeting:

- the use of robots with or without AI usable in welding processes or in welding-related processes (joint processing, cleaning of welding areas, heat treatments etc.) requiring operator personnel qualified in programming and maintenance
- the use of AI technologies and control sensors, the data provided by these technologies needing to be interpreted by operators, in order to optimize processes
- the use of hybrid welding systems, where welders must understand the interaction between different processes
- the use of AR/VR equipment for operation, but also for training, requiring skills in interacting with virtual environments and using intelligent interfaces.

Regarding the level of quality that will be required in construction and industry, it is foreseen that tighter tolerances and higher precision requirements will be imposed, with welding robots and AI technologies enabling welds whose quality is approaching ideal and reducing human errors.

3. Future potential professions in the field of welding

Based on the above requirements and customer

clienților (nivel de calitate), producătorilor de echipamente pentru sudare (echipamente bazate pe tehnologii digitale cu sau fără tehnologie AI încorporată) și producătorilor de consumabile pentru sudare (materiale de adaos ecologice și sustenabile, suporturi ceramice confecționate din materiale recuperate prin reciclare sau din surse regenerabile cum ar fi cochiliile de Rapana Thomasiana, gaze de protecție și electrozi pentru sudare WIG elaborate ecologic) se pot face predicții cu privire la potențiale noi profesii care deja bat la ușa domeniului sudării.

O listă cu astfel de profesii ar putea conține cel puțin cele zece meserii descrise mai jos.

1. Operator de sudare robotică adaptivă

Acest profesionist coordonează sisteme robotizate avansate care utilizează senzori și algoritmi de învățare pentru a ajusta parametrii de sudare în timp real. În loc să fie necesar un sudor tradițional pentru fiecare îmbinare, roboții pot „învăța” variațiile de material, grosime sau poziție, trecând astfel de la un tip de îmbinare la altul fără eforturi suplimentare, cum este cazul unui sudor. Practic, se înlocuiește parțial profesia clasică de sudor manual, deoarece mare parte din munca repetitivă și solicitantă fizic devine automată. Implicațiile includ recalificarea personalului uman către roluri de supervizare și programare, dar și o scădere a efortului fizic. Riscurile ocupaționale țin de manipularea roboților (pericol de coliziuni, șocuri electrice), expunere la radiații luminoase intense (arc electric), fum și gaze. De asemenea, personalul implicat trebuie să fie conștient de potențialele erori software ce pot duce la mișcări imprevizibile ale robotului, impunând protocoale stricte de securitate și utilizarea echipamentelor de protecție (ochelari speciali, mănuși ignifuge).

2. Inginer de sudare utilizând AR

Acest specialist concepe, testează și implementează soluții de realitate augmentată pentru sudare, permițând operatorilor să vizualizeze informații tehnice direct în câmpul vizual (de exemplu, parametrii de curent, viteza de avans, toleranțe). Se înlocuiește parțial rolul inginerului tradițional de sudare, fiind nevoie de competențe IT și cunoștințe avansate despre interfața om-mașină. Implicațiile ar fi acelea că personalul clasic de sudură trebuie să fie instruit în software și instrumente AR, iar planificarea producției se modifică pentru a integra astfel de tehnologii. Riscurile privesc efortul vizual intens și potențiala dependență de date digitale, erori de

trends (quality level), welding equipment manufacturers (equipment based on digital technologies with or without embedded AI technology) and welding consumables manufacturers (green and sustainable filler metals, ceramic supports made from recycled or renewable materials such as Rapana Thomasiana shells, environmentally friendly shielding gases and TIG welding electrodes) predictions can be made about potential new professions that are already knocking on the door of the welding field.

A list of such professions could contain at least the ten trades described below.

1. Adaptive robotic welding operator

This professional coordinates advanced robotic systems that use sensors and learning algorithms to adjust welding parameters in real time. Instead of requiring a traditional welder for each joint, robots can “learn” variations in material, thickness or position, thus switching from one type of joint to another without additional effort, as is the case with a welder. Basically, the classic profession of manual welding is partially replaced, since much of the repetitive and physically demanding work becomes automated. The implications include the retraining of human personnel for supervisory and programming roles, but also a decrease in physical effort. Occupational risks relate to the handling of robots (danger of collisions, electric shocks), exposure to intense light radiation (electric arc), smoke and gases. Also, the personnel involved must be aware of potential software errors that can lead to unpredictable robot movements, imposing strict security protocols and the use of protective equipment (special glasses, fire-resistant gloves).

2. Welding Engineer using AR

This specialist designs, tests and implements augmented reality solutions for welding, allowing operators to view technical information directly in the field of view (e.g. current parameters, feed rate, tolerances). The role of the traditional welding engineer is partially replaced, requiring IT skills and advanced knowledge of the human-machine interface. The implications would be that traditional welding personnel must be trained in AR software and tools, and production planning is modified to integrate such technologies.

The risks concern intense visual effort and potential dependence on digital data, display errors, plus

afișare, plus expunerea la fum și radiații ale arcului. Se impun protocoale de protecție oculară dublă (ochelari speciali + cască AR) și verificări periodice ale aplicațiilor software implicate.

3. Specialist în lipire moale/brazare ecologică

Această profesie vizează dezvoltarea și aplicarea de procedee de lipire și brazare care utilizează aliaje cu conținut redus de plumb sau fluxuri „verzi”, cu emisii minime de substanțe toxice. Practic, se înlocuiește parțial rolul tradițional de lipitor, care folosea aliaje pe bază de plumb sau fluxuri corozive.

Implicațiile sunt legate de nevoia de formare suplimentară pentru a înțelege noile materiale și a respecta normele de mediu, iar costurile inițiale pot fi mai mari. Riscurile privesc expunerea la temperaturi ridicate, fumuri chimice și potențiale iritații ale căilor respiratorii. Sunt necesare echipamente de protecție (măști cu filtre, mănuși rezistente la temperatură) și sisteme de ventilație adecvate.

4. Tehnician pentru tăiere laser cu monitorizare inteligentă

Acest profesionist operează instalații laser dotate cu senzori care evaluează grosimea și compoziția chimică a materialului, reglând automat parametrii de tăiere. Se înlocuiește, parțial, funcția clasică de operator de tăiere cu oxiacetilenă sau plasmă, întrucât tehnicianul laser se bazează pe competențe de control numeric și analiză de date.

Implicațiile includ reconversia forței de muncă tradiționale și necesitatea de a înțelege securitatea în jurul laserelor de mare putere.

Riscurile asociate sunt cele legate de prezența radiației laser, de reflexiile necontrolate ale acesteia, de inhalarea de fumuri metalice, precum și de arsuri prin contact accidental. Echipamentul de protecție presupune ochelari specifici spectrului laser, sisteme de protecție împotriva reflexiilor și ventilație corespunzătoare.

5. Programator overlay/încărcare prin sudare bazat pe inteligență artificială

Acest specialist dezvoltă și optimizează algoritmi AI pentru procese de încărcare prin sudare, în special pentru readucerea la forma și dimensiunile inițiale ale suprafețelor pieselor supuse uzurii. Se înlocuiește parțial rolul clasic de sudor specializat în recondiționare, deoarece majoritatea deciziilor privind parametrii de sudare, grosimea stratului sau tipul de material de adaos sunt luate automat. Implicația

exposure to smoke and arc radiation. Double eye protection protocols (special glasses + AR helmet) and periodic checks of the software applications involved are required.

3. Specialist in ecological soldering/brazing

This profession aims to develop and apply soldering and brazing processes that use low-lead alloys or “green” fluxes, with minimal emissions of toxic substances. In practice, it partially replaces the traditional role of the solderer, who used lead-based alloys or corrosive fluxes.

The implications are related to the need for additional training to understand the new materials and comply with environmental regulations, and the initial costs may be higher.

The risks concern exposure to high temperatures, chemical fumes and potential respiratory irritation. Protective equipment (filter masks, temperature-resistant gloves) and adequate ventilation systems are required.

4. Laser cutting technician with intelligent monitoring

This professional operates laser installations equipped with sensors that evaluate the thickness and chemical composition of the material, automatically adjusting the cutting parameters.

The classic function of oxyacetylene or plasma cutting operator is partially replaced, as the laser technician relies on numerical control and data analysis skills.

The implications include the retraining of the traditional workforce and the need to understand safety around high-power lasers.

The associated risks are those related to the presence of laser radiation, its uncontrolled reflections, the inhalation of metal fumes, as well as burns from accidental contact. Protective equipment includes laser-spectrum-specific glasses, anti-reflection systems and appropriate ventilation.

5. Artificial intelligence-based overlay/weld loading programmer

This specialist develops and optimizes AI algorithms for welding loading processes, in particular for restoring the original shape and dimensions of the surfaces of parts subjected to wear. The classic role of the reconditioning welder is partially replaced, as most decisions regarding welding parameters, layer thickness or type of filler material are made automatically. The main implication of such a change in

principală a unei astfel de schimbări în modul de abordare este apariția necesității recalificării spre competențe de programare și analiză de date, însoțită de un accent mai mare pe mentenanța echipamentelor inteligente. Riscurile asociate includ expunerea la fumuri metalice, electrocutarea, precum și posibile defecțiuni software care pot duce la generări eronate ale stratului. Echipamentul de protecție rămâne esențial (ochelari, măști, ventilație), la fel ca monitorizarea permanentă a parametrilor AI.

6. Operator de sudare hibridă laser-MIG/MAG

Această profesie presupune utilizarea unei tehnici de sudare care combină sursa termică fascicul laser cu arcul electric de la procedeul de sudare MIG/MAG, obținându-se astfel o pătrundere mai mare decât în cazul sudării MIG/MAG, precum și o viteză de execuție mai mare. Practic, se înlocuiește parțial rolul sudorului MIG/MAG tradițional, deoarece echipamentul hibrid necesită control numeric avansat și cunoștințe laser. Implicațiile acestor noi condiții de lucru includ recalificarea forței de muncă, sudorii MIG/MAG trebuind să învețe tipurile, influențele și modurile de control ale parametrilor optici, precum și modurile de operare a consolelor de control digital. Din perspectivă ocupațională, riscurile asociate se extind la radiațiile laser (pericol de reflexii și arsuri) și la fumurile emise în timpul procesului de sudare. Sunt necesare echipamente de protecție pentru ochi (ochelari specializați, vizieră) și sisteme de ventilație care să elimine fumurile și vaporii toxici, în plus față de monitorizarea strictă a puterii laserului.

7. Specialist în sudare prin depunere aditivă cu arc (Wire Arc Additive Manufacturing – WAAM)

Această profesie implică sisteme de sudare de tipul MIG/MAG sau sub strat de flux utilizate pentru generarea de forme spațiale prin depuneri succesive de straturi, proces similar celui de imprimare 3D. Se înlocuiește parțial rolul clasic al operatorului sudor care realizează reparații sau producție de piese unicat, deoarece WAAM permite fabricarea directă a componentelor cu geometrii complexe. Implicațiile acestei schimbări includ nevoia de competențe IT și de programare a traiectoriilor robotului ori a dispozitivului de depunere. Riscurile de sănătate și securitate în muncă se referă la expunerea la arc electric, fumuri metalice și riscuri electrice. Se impun echipamente de protecție (măști, mănuși, combinezoane ignifuge), precum și sisteme de exhaustare eficiente pentru a controla vaporii toxici.

approach is the emergence of the need for retraining towards programming and data analysis skills, accompanied by a greater emphasis on the maintenance of smart equipment.

Associated risks include exposure to metal fumes, electrocution, as well as possible software failures that can lead to erroneous layer generation.

Protective equipment remains essential (goggles, masks, ventilation), as well as permanent monitoring of AI parameters.

6. Hybrid laser-MIG/MAG welding operator

This profession involves the use of a welding technique that combines the laser beam heat source with the electric arc from the MIG/MAG welding process, thus achieving greater penetration than in the case of MIG/MAG welding, as well as a higher execution speed. In practice, the role of the traditional MIG/MAG welder is partially replaced, as the hybrid equipment requires advanced numerical control and laser knowledge. The implications of these new working conditions include the retraining of the workforce, with MIG/MAG welders having to learn the types, influences and control modes of optical parameters, as well as the operating modes of digital control consoles. From an occupational perspective, the associated risks extend to laser radiation (danger of reflections and burns) and to the fumes emitted during the welding process. Eye protection equipment (specialized glasses, visor) and ventilation systems to eliminate toxic fumes and vapours are required, in addition to strict monitoring of laser power.

7. Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) Specialist

This profession involves MIG/MAG or submerged arc welding systems used to generate spatial shapes through successive layer deposition, a process similar to 3D printing.

The classic role of the welder operator who performs repairs or produces unique parts is partially replaced, as WAAM allows the direct manufacture of components with complex geometries.

The implications of this change include the need for IT skills and programming of robot or deposition device trajectories.

Occupational health and safety risks relate to exposure to electric arcs, metal fumes and electrical risks. Protective equipment (masks, gloves, flame-retardant overalls) is required, as well as effective exhaust systems to control toxic fumes.

8. Operator de sudare subacvatică asistată robotic

Această profesie presupune gestionarea unor roboți subacvatici (ROV) echipați cu sisteme de sudare și tăiere, utilizate la repararea unor structuri marine, structuri offshore sau instalații submarine. Se înlocuiește parțial rolul scafandruului-sudor clasic, deoarece o mare parte din intervențiile periculoase sunt preluate de roboți, controlul fiind efectuat de la distanță. Implicațiile vizează nevoia de competențe în teleoperare, cunoștințe hidrodinamice și interpretarea datelor transmise de senzori. Riscurile includ scurgerile electrice, manevrarea greșită a robotului (care poate provoca avarii), expunerea la presiuni mari și posibile contaminări chimice. Sunt necesare protocoale stricte de siguranță, echipamente electrice etanșe și monitorizare constantă a mediului subacvatic.

9. Tehnician tăiere cu fascicule de energie

Acest specialist operează instalații de tăiere și prelucrare care utilizează un fascicul laser sau un fascicul de electroni la energii înalte, pentru a perfora sau separa metalele cu precizie. Se înlocuiește parțial funcția clasică a operatorilor de tăiere mecanică sau plasmă, deoarece fasciculul de electroni poate lucra la viteze superioare și cu precizie ridicată, fără contact fizic. Implicațiile includ necesitatea unor competențe avansate în fizica fasciculelor și control numeric, dar și costuri inițiale mai mari. Riscurile privesc expunerea la radiații (electroni de înaltă energie) și la câmpuri electromagnetice, impunând carcase de protecție, sisteme de monitorizare a radiațiilor și echipament special pentru operatori. De asemenea, sunt necesare proceduri stricte de evacuare a fumului și a gazelor generate în proces.

10. Dezvoltator de conținut VR/AR pentru sisteme digitale dedicate formării sudorilor

Acest profesionist creează simulări virtuale și augmentate, menite să instruiască sudorii în medii sigure și realiste. Se înlocuiește parțial rolul instructorului sudor tradițional, deoarece o parte din pregătirea practică are loc în spații virtuale, fără consum de materiale sau riscuri de arsuri.

Implicațiile constau în necesitatea cunoștințelor de design 3D, programare și psihopedagogie, pentru a oferi scenarii realiste și eficiente. Riscurile ocupaționale includ efortul vizual intens, posibile amețeli la operarea în mediul virtual și o potențială dependență de echipamente VR. Instructorii și dez-

8. Robotic-assisted underwater welding operator

This profession involves the management of underwater robots (ROVs) equipped with welding and cutting systems, used to repair marine structures, offshore structures or submarine installations. The role of the classic diver-welder is partially replaced, since a large part of the dangerous interventions are taken over by robots, the control being carried out remotely.

The implications concern the need for teleoperation skills, hydrodynamic knowledge and interpretation of data transmitted by sensors. Risks include electrical leakage, incorrect handling of the robot (which can cause damage), exposure to high pressures and possible chemical contamination. Strict safety protocols, sealed electrical equipment and constant monitoring of the underwater environment are required.

9. Focused Energy Beam Cutting Technician

This specialist operates cutting and processing equipment that uses a laser beam or a high-energy electron beam to precisely pierce or separate metals. It partially replaces the classic function of mechanical or plasma cutting operators, as the electron beam can work at higher speeds and with high precision, without physical contact.

The implications include the need for advanced skills in beam physics and numerical control, but also higher initial costs.

The risks relate to exposure to radiation (high-energy electrons) and electromagnetic fields, requiring protective housings, radiation monitoring systems and special equipment for operators.

Strict procedures are also required to exhaust fumes and gases generated in the process.

10. VR/AR content developer for welder training digital systems

This professional creates virtual and augmented simulations designed to train welders in safe and realistic environments. The role of the traditional welding instructor is partially replaced, as part of the practical training takes place in virtual spaces, without the consumption of materials or the risk of burns. The implications are the need for knowledge of 3D design, programming and psychopedagogy to provide realistic and effective scenarios. Occupational risks include intense visual effort, possible dizziness when operating in the virtual environment and a potential dependence on VR equipment. Instructors and

voltatorii trebuie să asigure un echilibru între practica reală și cea virtuală, pentru a respecta standardele de securitate.

4. Implicațiile introducerii noilor profesii în piața muncii

Adoptarea profesiilor moderne din domeniul sudării, lipirii, brazării, tăierii și încărcării prin sudare (precum operatorii de sudare robotizată adaptivă, specialiștii în WAAM, tehnicienii pentru aplicarea tehnologiilor cu fascicul de electroni sau programatorii AI) va aduce schimbări semnificative în structura și procesele producătorilor de structuri sudate, indiferent de natura acestora din urmă. Principalele implicații ce se întrevăd pot fi grupate în două categorii: implicații economice și implicații tehnice.

Implicațiile economice vizează în principal:

1. Costurile inițiale ridicate

Integrarea roboților, a echipamentelor laser sau a celor cu fascicul de electroni, integrarea tehnologiilor AR/VR ori a soluțiilor AI presupune investiții majore în hardware, software și infrastructură. În plus, pot apărea costuri legate de achiziționarea licențelor necesare și de mentenanța echipamentelor avansate.

2. Recalificarea și formarea personalului

Firmele trebuie să investească în cursuri de specializare, fie prin programe interne de instruire, fie prin parteneriate cu furnizori de servicii de instruire. Angajații tradiționali (sudori manuali, operatori de tăiere convențională) au nevoie de instruire suplimentară pentru a-și asuma roluri de supervizare, programare a echipamentelor sau mentenanță a roboților. Aceasta implică un cost de oportunitate (timpul în care angajații nu lucrează direct pentru producție) și costuri efective de instruire.

3. Creșterea productivității și a competitivității

Pe termen mediu și lung, tehnologiile avansate reduc erorile, cresc viteza de execuție și scad risipa de materiale. Astfel, firmele pot livra produse de calitate superioară la costuri mai scăzute, devenind mai competitive pe piață.

4. Reducerea costurilor și riscurilor neconformităților

Odată cu automatizarea și monitorizarea inteligentă, scad numărul de neconformități și numărul de rebuturi. De asemenea, costurile legate de accidentele de muncă vor fi cu siguranță mai mici, deoarece lucrătorii nu mai sunt expuși în mod direct la procese periculoase.

5. Posibile restructurări și redistribuire a forței de muncă

Înlocuirea unor profesii mai vechi (de ex. sudorul manual tradițional) poate duce, inițial, la o reducere

developers must ensure a balance between real and virtual practice, in order to comply with safety standards.

4. Implications of introducing new professions into the labour market

The adoption of modern professions in the field of welding, soldering, brazing, cutting and welding loading (such as adaptive robotic welding operators, WAAM specialists, electron beam application technicians or AI programmers) will bring significant changes to the structure and processes of welded structure manufacturers, regardless of the nature of the latter. The main implications that can be seen can be grouped into two categories: economic implications and technical implications.

The economic implications mainly concern:

1. High initial costs

Integrating robots, laser or electron beam equipment, integrating AR/VR technologies or AI solutions requires major investments in hardware, software and infrastructure. In addition, there may be costs related to the purchase of the necessary licenses and the maintenance of advanced equipment.

2. Retraining and training of personnel

Companies need to invest in specialized training, either through internal training programs or through partnerships with training providers. Traditional employees (manual welders, conventional cutting operators) need additional training to take on supervisory roles, equipment programming, or robot maintenance. This involves an opportunity cost (time employees are not directly working on production) and actual training costs.

3. Increasing productivity and competitiveness

In the medium and long term, advanced technologies reduce errors, increase execution speed, and decrease material waste. Thus, companies can deliver higher quality products at lower costs, becoming more competitive in the market.

4. Reducing the costs of risks and non-compliance

With automation and intelligent monitoring, the number of non-conformities and the number of scraps decrease. Also, the costs related to work accidents will certainly be lower, since workers are no longer directly exposed to dangerous processes.

5. Possible restructuring and redistribution of the workforce

Replacing older professions (e.g. traditional manual welders) may initially result in staff reductions or re-

a personalului sau la mutarea acestuia către alte secții. Firmele care nu gestionează atent tranziția pot suferi pierderi de personal valoros, însă cele care investesc în recalificare beneficiază de angajați având competențe multiple și loialitate crescută.

Implicațiile tehnice cuprind aspectele legate de echipamente, tehnologii și securitate.

1. Integrarea echipamentelor avansate în fluxul de producție

Echipamentele precum roboții de sudare adaptivă, imprimantele WAAM sau sistemele laser necesită adaptarea liniilor de producție și recalibrarea fluxurilor de fabricație. Trebuie asigurată compatibilitatea cu aplicațiile software CAD/CAM existente și cu infrastructura IT a firmei.

2. Mentenanță specializată și actualizări periodice

Roboții și sistemele AI necesită intervenții de mentenanță mai frecvente la nivel de software (actualizări, patch-uri de securitate) și la nivel de hardware (senzori, actuatori). În plus, personalul responsabil trebuie să înțeleagă specificul acestor tehnologii, altfel pot apărea timpi de oprire mari.

3. Asigurarea securității cibernetice

Pe măsură ce liniile de producție devin tot mai interconectate și controlate de software inteligent, firmele trebuie să implementeze protocoale stricte de securitate cibernetică. Un atac informatic ar putea sabota echipamentele de sudare robotizată sau parametrii de tăiere laser, generând pierderi financiare și riscuri de siguranță.

4. Standarde de calitate și conformitate

Tehnologiile avansate de sudare, tăiere și lipire sunt reglementate de standarde internaționale (ex. ISO, EN, ASME). Companiile trebuie să se asigure că noile procese îndeplinesc cerințele legate de controlul calității, trasabilitate și securitate a muncii.

5. Colaborare între departamente

Implicarea simultană a echipelor de proiectare, producție, IT și management devine esențială pentru a integra cu succes noile profesii. De exemplu, inginerii de proiectare trebuie să colaboreze cu operatorii de sudare robotizată și cu specialiștii IT pentru a optimiza parametrii de lucru și a diminua blocajele.

Pe lângă aceste implicații directe, adoptarea noilor profesii implică și o serie de schimbări semnificative în modul în care se desfășoară procesele de sudare, tăiere și încărcare prin sudare. Pentru a se asigura consistența, calitatea și securitatea acestor procese, este necesară o adaptare a standardelor existente sau chiar introducerea unor standarde noi. Principalele implicații și direcții de standardizare sunt prezentate în continuare.

locations to other departments. Companies that do not manage the transition carefully may suffer the loss of valuable staff, but those that invest in retraining benefit from employees with multiple skills and increased loyalty.

Technical implications include aspects related to equipment, technologies and security.

1. Integrating advanced equipment into the production flow

Equipment such as adaptive welding robots, WAAM printers or laser systems require adaptation of production lines and recalibration of manufacturing flows. Compatibility with existing CAD/CAM software applications and the company's IT infrastructure must be ensured.

2. Specialized maintenance and periodic up-dates

Robots and AI systems require more frequent maintenance interventions at the software level (updates, security patches) and at the hardware level (sensors, actuators). In addition, the responsible personnel must understand the specifics of these technologies, otherwise long downtimes may occur.

3. Ensuring cybersecurity

As production lines become increasingly interconnected and controlled by intelligent software, companies must implement strict cybersecurity protocols for all involved systems. A cyber-attack could sabotage the function of a robotic welding equipment or laser cutting parameters, leading to financial losses and safety risks.

4. Quality and compliance standards

Advanced welding, cutting and bonding technologies are regulated by international standards (e.g. ISO, EN, ASME). Companies must ensure that new processes meet requirements related to quality control, traceability and occupational safety.

5. Collaboration between departments

The simultaneous involvement of design, manufacturing, IT and management teams is becoming essential to successfully integrate new professions. For example, design engineers must collaborate with robotic welding operators and IT specialists to optimize work parameters and reduce bottlenecks.

In addition to these direct implications, the adoption of new professions also implies a series of significant changes in the way welding, cutting and welding loading processes are carried out. In order to ensure the consistency, quality and safety of these processes, an adaptation of existing standards or even the introduction of new standards is necessary. The main implications and directions of standardization are presented below.

1. Standardizarea parametrilor de lucru pentru roboți și sisteme AI

Procedee precum sudarea robotizată adaptivă sau încărcarea prin sudare bazată pe algoritmi AI necesită parametri variabili (curent, tensiune, viteza de avans, unghi de atac) care se reglează în timp real. Devin necesare, așadar, standarde care să definească intervalele de toleranță, protocoalele de validare a algoritmilor și criteriile de acceptare a sudurilor rezultate din procese adaptive. Ar fi nevoie și de ghiduri pentru testarea aplicațiilor software, precum și evaluarea securității cibernetice (de exemplu prevenirea modificărilor neautorizate ale algoritmilor).

2. Norme privind calificarea și certificarea personalului

Noile profesii cer competențe avansate de programare, analiză de date, control numeric sau utilizare a realității augmentate. Este necesară crearea unor standarde similare cu cele din EN ISO 9606 (calificarea sudorilor), dar adaptate la competențele de operator roboți cu sau fără AI și AR/VR. Se pot introduce coduri de certificare specială (de ex. „Operator WAAM Nivel 1”, „Programator Sudare AI Nivel 2”), cu cerințe de instruire și examinare a abilităților.

3. Standarde pentru procedee de fabricație aditivă (WAAM, încărcare prin sudare cu laser)

Multe dintre noile tehnologii de depunere aditivă nu sunt complet acoperite de standardele curente (ex. EN ISO 15614-11 sau alte părți referitoare la sudare și procedeele conexe). Este necesară elaborarea unor standarde care să reglementeze modul de calificare a procedurilor de WAAM, parametrii de calitate, metodele de examinare nedistructivă (NDT) specifice, precum și controlul geometriei pieselor rezultate.

4. Sisteme de trasabilitate și trasabilitate digitală

Noile profesii și tehnologii generează un volum mare de date digitale. Devine necesară introducerea unor standarde de tip „digital welding log” care să permită trasabilitatea completă a procesului (inclusiv versiunile de software, setările robotului, materialele de adaos folosite) și care să definească formatele de date pentru interoperabilitate (ex. un format standard de fișier pentru parametrii de sudare controlată cu AI).

5. Norme pentru protecția mediului și gestionarea deșeurilor

Unele procedee (lipire/brazare ecologică, WAAM) implică utilizarea de aliaje de lipire sau adezivi „ecologici”, precum și fluxuri cu emisii reduse. Alte procedee pot produce emisii de fum și deșeuri speciale. Stabilirea unor limite de emisii (fum, praf metalic), precum și protocoale de colectare și reciclare a materialelor folosite la imprimarea 3D a materialelor metalice (ex. pulberi

1. Standardization of working parameters for robots and AI systems

Processes such as adaptive robotic welding or AI-based welding loading require variable parameters (welding current, arc voltage, wire feed rate, attack angle) that are adjusted in real time.

Standards are therefore needed to define tolerance ranges, algorithm validation protocols and acceptance criteria for welds resulting from adaptive processes.

Guidelines for testing software applications and cybersecurity assessment (e.g. preventing unauthorized changes to algorithms) would also be needed.

2. Rules on personnel qualification and certification

New professions require advanced skills in programming, data analysis, numerical control or the use of augmented reality. It is necessary to create standards similar to those in EN ISO 9606 (qualification of welders), but adapted to the skills of robot operators with or without AI and AR/VR. Special certification codes can be introduced (e.g. “WAAM Operator Level 1”, “AI Welding Programmer Level 2”), with training requirements and examination of skills.

3. Standards for additive manufacturing processes (WAAM, laser welding loading, etc.)

Many of the new additive deposition technologies are not fully covered by current standards (e.g. EN ISO 15614-11 or other parts related to welding and related processes). Standards need to be developed to regulate the qualification of WAAM procedures, quality parameters, specific non-destructive testing (NDT) methods, and the control of the geometry of the resulting parts.

4. Traceability and digital traceability systems

New professions and technologies generate a large volume of digital data.

It becomes necessary to introduce “digital welding log” standards that allow full traceability of the process (including software versions, robot settings, filler materials used to melt) and that define data formats for interoperability (e.g. a standard file format for AI-controlled welding parameters).

5. Environmental protection and waste management rules

Some processes (green soldering/brazing, WAAM) involve the use of “green” solders or adhesives, as well as low-emission fluxes. Other processes may produce smoke emissions and special waste. Establishing emission limits (smoke, metal dust), as well as protocols for the collection and recycling of materials used in 3D printing of metal materials (e.g. pow-

sau sârme ca material de adaos). Aceste norme trebuie integrate cu legislația europeană de mediu.

7. Standardizarea interfețelor om-mașină (HMI) și securitate cibernetică

Sudarea robotică adaptivă, operatorii subacvatici ROV sau sistemele VR/AR necesită interfețe complexe și o protecție împotriva atacurilor cibernetice care pot afecta parametrii de sudură. Trebuie astfel create standarde care să reglementeze calitatea interfețelor (ergonomie, ușurință de utilizare) și protocoalele de criptare sau autentificare pentru echipamentele conectate la rețea (ex. roboți, imprimante WAAM).

8. Actualizarea standardelor existente pentru calificarea procedurilor

Multe standarde SR, ISO, EN și ASME privind sudarea se bazează pe metode convenționale (MIG/MAG, TIG, etc.). Odată cu apariția sistemelor hibride laser-MIG/MAG sau WAAM, procedurile aferente acestor noi sisteme trebuie integrate în standardele existente. Aceasta presupune revizuirea documentelor tehnice pentru a include descrieri clare ale proceselor hibride, ale setărilor de bază și ale cerințelor de testare (de ex. macro/microexaminare, test de tracțiune, test de îndoire), precum și specificarea parametrilor de repetabilitate pentru roboți.

5. Concluzii

Profesia de sudor se schimbă. Schimbările vor viza, în principiu, două aspecte: o implicare din ce în ce mai redusă a factorului uman în procesul de sudare și implementarea de echipamente și tehnologii moderne bazate pe robotică și control AI.

Efectele schimbărilor vor fi multiple și vor impune instruiți suplimentare și continue ale personalului sudor, recalificări de personal și de proceduri, conectarea noilor sisteme de sudare la sistemul de fabricație al producătorului de structuri sudate și, nu în ultimul rând, modificări ale reglementărilor aferente domeniului sudării.

Viitorul profesiei de sudor a început ieri cu validarea tehnologiilor digitale, continuă azi cu implicarea acestor tehnologii în sistemele de sudare și va crea mâine toate efectele amintite mai sus.

Bibliografie / References

- [1] Kamara, S. and Faggiani, K.S., 2021. The Future of Jobs Report 2025, https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/in-full/?_gl=1*1yyvhzz*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=EAlaIqobChMlyq6Khtb9iwMVEWORBR25YAiZEAAYAiAAEgKp2fD_BwE

Pentru citare:

I. D. Savu, *The welding profession – where is it going?*, *Sudura*, nr. 1 (2025), year XXXV, 29-43, <https://doi.org/10.70652/sud.2025.1.3>

ders or wires as filler material). These norms must be integrated with European environmental legislation.

7. Standardization of human-machine interfaces (HMI) and cybersecurity

Adaptive robotic welding, underwater ROV operators or VR/AR systems require complex interfaces and protection against cyberattacks that can affect welding parameters.

Standards must therefore be created to regulate the quality of interfaces (ergonomics, ease of use) and encryption or authentication protocols for network-connected equipment (e.g. robots, WAAM printers).

8. Updating existing standards for qualification of procedures

Many SR, ISO, EN and ASME standards on welding are based on conventional methods (MIG/MAG, TIG, etc.).

With the emergence of hybrid laser-MIG/MAG or WAAM systems, the procedures for these new systems need to be integrated into existing standards. This involves revising technical documents to include clear descriptions of hybrid processes, basic setups and test requirements (e.g. macro/micro examination, tensile test, bend test), as well as specifying repeatability parameters for robots.

5. Conclusions

The welding profession is changing. The changes will focus, in principle, on two aspects: a decreasing involvement of the human factor in the welding process and the implementation of modern equipment and technologies based on robotics and AI control. The effects of the changes will be multiple and will require additional and continuous training of welding personnel, retraining of personnel and procedures, connection of new welding systems to the manufacturing system of the manufacturer of welded structures and, last but not least, changes to the regulations related to the welding field. The future of the welding profession began yesterday with the validation of digital technologies, continues today with the involvement of these technologies in welding systems, and will create all the effects mentioned above tomorrow.