

**LBRIS**

We know  
books

**NICOLAE JONI**

# **SUDAREA ROBOTIZATĂ CU ARCUL ELECTRIC**

**EDITURA MIRTON  
TIMIȘOARA, 2021**

## Cuprins

Prefața autorului principal la ediția a v-a .....	3
Cuvânt înainte .....	5
A. Despre roboții industriali .....	7
A.1. Primii roboți, din cele mai vechi timpuri. Robotul industrial .....	7
A.2. Ce este și cum funcționează un robot ? .....	12
A.3. Clasificarea roboților industriali .....	15
A.4. Distribuția geografică și pe domenii de activitate a roboților industriali în lume .....	20
A.5. Structura sistemelor pentru sudarea cu arcul electric și tehnici conexe .....	33
A.6. Funcționarea roboților industriali pentru sudare .....	43
A.6.1. Cinematica roboților industriali .....	48
A.6.2. Acționarea roboților industriali .....	52
A.6.3. Sisteme pentru comandă și programarea roboților industriali .....	58
B. Sudarea cu arcul electric .....	71
B.1. Procedee de sudare cu arcul electric .....	71
B.2. Sudarea MIG/MAG (MSG) .....	77
B.3. (Sub)procedee derivate din sudarea clasica MSG .....	82
B.4. Sudarea cu electrod nefuzibil in mediu de gaz inert (WIG) .....	89
B.5. Sudarea cu plasmă .....	97
B.6. Procedeele de sudare Tandem® .....	101
2. Sistemul robotizat pentru efectuarea îmbinărilor la dublul fund al navelor .....	109
3. Liniile de fabricație pentru micropanouri .....	110
B.7. Sudarea cu laser .....	111
B.8. Sudarea prin procedeul LaserHibrid .....	119
B.9. Sudarea MSG in rost îngust .....	130
B.10. Sudarea MSG cu electrozi speciali (cu sârmă tubulară, cu bandă) .....	136
B.10.1. Procedeele de sudare MSG cu bandă – electrod .....	136
B.10.2. Sudarea MSG cu sârmă tubulară .....	138
B.11. Procesul de sudare sau tăiere oxigaz .....	140
C. Caracteristicile sistemelor robotizate de sudare cu arc electric .....	142
C.1. Mecanizarea, automatizarea și robotizarea proceselor de sudare .....	142
C.2. Diferențe, avantaje, dezavantaje și aplicații .....	143
C.3.1. Roboți adecvați procesului de sudare cu arcul electric .....	145
C.3.2. Manipulatoarele pieselor pentru menținerea acestora în pozițiile tehnologice corecte 150	
C.3.3. Poziționările roboților necesare extinderii volumelor utile de lucru ale acestora ...	154
C.3.4. Dispozitivul pentru strangerea și fixarea componentelor îmbinării .....	157
D. Sudarea Robotizată Adaptivă .....	159
D.1. Necesitatea adaptivității - posibilități și limite actuale .....	159
D.2. Modul în care se modifică parametrii de sudare conduce la schimbarea parametrilor geometrici ai îmbinării .....	160
D.3. Traductoare și senzori – principii și realizări practice .....	162

D.3.1. Senzori Tactili.....	168
D.3.2. Senzori De Proximitate .....	173
D.3.3. Senzori Optici.....	175
D.3.4. Senzori bazați pe măsurarea tensiunii.....	182
C. Senzor bazat pe rotația arcului de sudare .....	194
D.4. Tehnologiile senzoriale speciale .....	198
E. ANALIZA ȘI SINTEZA SISTEMELOR ROBOTIZATE PENTRU SUDARE .....	199
E.1. Structura sistemelor de sudare robotizate .....	199
E.2. Particularități și cerințe ale sistemelor de sudare complex robotizate.....	200
E.3. Evaluarea performanțelor sistemelor robotizate .....	208
E.4. Sisteme robotizate tip „celula flexibilă pentru sudare” .....	218
E.5. Monitorizarea parametrilor de sudare pentru creșterea calitatii .....	225
E.6. Rezultate teoretice si experimentale la sudarea robotizata MSG in impulsuri.....	233
E.7. Considerații privind proiectarea îmbinărilor în cazul sudării robotizate .....	240
E.8. Configurarea optimă a sistemelor robotizate în funcție de piesele care se sudează ..	248
E.9. Programarea offline a sistemelor robotizate pentru sudare .....	256
Sudare cu arc electric și procedee conexe, de etanșare, de tăiere, lipire etc. ....	262
F.1. Aplicații industriale ale roboților la fabricarea construcțiilor metalice .....	266
F.2. Fabricarea recipientelor în sisteme robotizate .....	274
F.3.3. Sisteme robotizate destinate fabricației vagoanelor de călători și a unor subansamble ale acestora.....	278
F.4. Principii de robotizare a fabricației structurilor sudate în construcția de nave.....	281
F.4.2. Modernizarea și perfecționarea operațiilor de sudare din domeniul naval prin intermediul unor proiecte de mare anvergură .....	289
F.5. Fabricația utilajelor terasiere in sisteme robotizate.....	295
F.7. Sudarea robotizată a reperelor complexe având dimensiuni mici și mijlocii.....	298
F.8.Sudarea automatizata si robotizata a conductelor pentru gaze naturale .....	302
G. Caracteristici actuale si tendinte in sudarea robotizata .....	312
G.1. Aspecte tehnico-economice ale implementării roboților pentru sudare .....	312
G.1.1. Consideratii practice privind robotizarea proceselor SAE.....	314
G.2. Avantaje și dezavantaje ale tehnologiilor complex robotizate.....	318
G.3. Utilizarea inteligenței artificiale la comanda proceselor de sudare .....	319
G.4. Telediagnoza sistemelor robotizate pentru sudarea cu arcul electric .....	332
G.5. Tendințe noi în automatizarea, robotizarea și conducerea proceselor industriale bazate pe conceptul “Industria 4.0” .....	337
Anexa H.1. ....	342
Anexa H.2. ....	344
ANEXA H.3. ....	347
Anexa H.4.....	350
ANEXA H.5.....	352
ANEXA H.6.....	353
ANEXA H.7.....	354
ANEXA H.8. ....	355
ANEXA H.9. ....	356

## A. DESPRE ROBOȚII INDUSTRIALI

### A.1. Primii roboți, din cele mai vechi timpuri. Robotul industrial

Noțiunile de “automatizare” și “robotizare” reprezintă adesea, simboluri ale progresului tehnic în scopul ameliorării condițiilor de muncă. Dintr-alt punct de vedere, aceste noțiuni caracterizează stadiul evoluției tehnice în ceea ce privește eliberarea omului de activități grele, oboseitoare încă de la începuturile umanității. Cu toate acestea, visul oamenilor de a crea mașini inteligente, capabile să facă ceea ce doar omul știe, a însoțit umanitatea încă de la începuturile sale [A1].

Astfel, se cunoaște legenda uriașului Talos, un *automaton* realizat sub forma unui sclav din bronz, care avea misiunea de a păzi insula Creta, făurit de zeul Hephaistos cu trei milenii și jumătate înainte de Hristos. .El făcea – în mod automat – turul insulei, de trei ori pe zi, iar în caz că vedea străini debarcând, își ridica temperatura corpului său metalic până la incandescență și îi îmbrățișa pe intruși, distrugându-i. [A2]



Figura A.1.1. Uriașul de bronz Talos, printre cele mai vechi automate (cca. 3500 î.Chr.), distrus de argonauții care au ocupat insula Creta



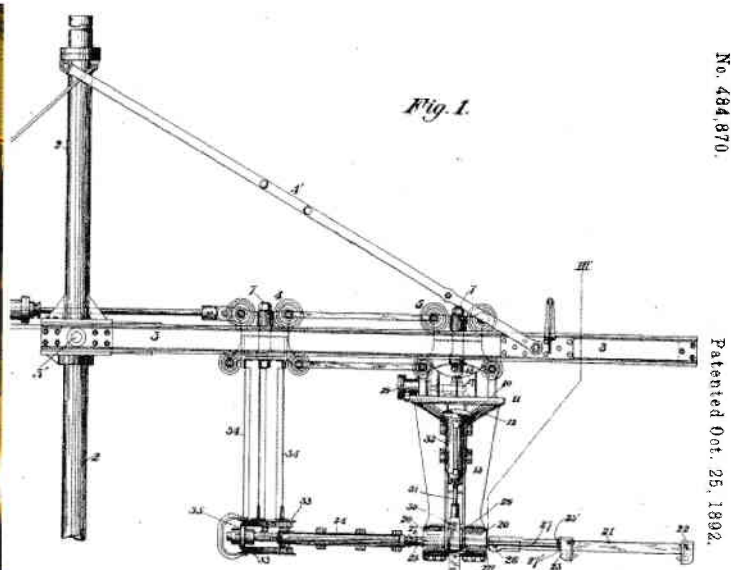
Figura A.1.2. Una dintre realizările importante ale lui Al-Jazari, o pompă automată acționată de forța apei

Din punct de vedere al „acționării” Talos pare un automat hidraulic, iar Apollodor ne spune că „avea o singură venă, de la cap până la articulațiile inferioare (glezne)”, umplută cu „ichor” sau sângele zeilor. Numai prin scurgerea acestui lichid (similar cu lichidul hidraulic de astăzi), realizată de Medeia la cererea argonauților a fost posibilă neutralizarea lui Talos și ocuparea Cretei.

Preocupări asemănătoare au vizat construirea mașinilor - oracol din Egiptul antic (la care însă „sistemul de comandă” era constituit chiar de preoți ascunși în interior), ori pe cea a mașinilor acționate de forța apei, create de arabilul Al-Jazari în cel de-al treisprezecelea secol e.n. – au concretizat ideea de robot, chiar înainte de a apare această noțiune.

Al-Jazari a construit automate în formă de păuni, acționați de forța apei. A inventat cele mai vechi porți metalice automate și nu în ultimul rând roți acționate de puterea apei, pe al căror ax se aflau came, având rolul de a realiza mișcarea automată a unor elemente la momentul dorit.

Întregul Ev Mediu și apoi perioada Renașterii au cunoscut zeci de încercări, unele încununate de succes – cum ar fi „automatonul-soldat” al lui Leonardo da Vinci. Cavalerul - robot putea sta în picioare, să se așeze, să își ridice viziera și să își miște mâinile independent – totul fiind acționat la distanță printr-un sistem de scripete și cabluri. Desenele acestuia s-au pierdut și au fost regăsite în 1950, când pe baza lor s-a încercat construirea unui model, care s-a dovedit pe deplin funcțional.



**Figura A.1.3 „Cavalerul-Robot” construit la mijlocul secolului trecut după desenele lui Leonardo da Vinci, după [A3] (stânga); „macaraua robotică” patentată de Seward Babbitt pentru aducerea/evacuarea lingourilor din cuptor (dreapta)**

Cu puțin înainte de finele secolului al XIX-lea, savantul de origine sârba Nikola Tesla, cunoscut pentru invențiile sale extrem de importante ca : radioul, mașina de inducție, inductivități speciale etc. a conceput primele vehicule telecomandate. Tot în această perioadă, în Statele Unite, Seward Babbitt realizează o macara dotată cu

un dispozitiv de prehensiune care putea sa introducă/ extragă/ manevreze lingouri metalice dintr-un cuptor. [A4]

În anul 1921, dramaturgul ceh Karel Capek folosește pentru întâia oară cuvântul «robot» în piesa sa “Rossum’s Universal Robots”. Cuvântul astăzi celebru vine de la termenul “robota”, adică “muncă grea, ca sclavii” în limba cehă, însă se regăsește și în limba română, ca definiție a unei munci anostă, însă susținute („a roboti”).

Înainte cu puțin de cel de-al doilea război mondial, americanii Willard Pollard și Harold Roselund au proiectat un mecanism complex destinat înlocuirii omului în procesele de vopsire, pentru compania DeVilbiss. Au fost concepute numeroase automate (de exemplu Elsie Broasca Țestoasă – a lui G. Walters, la începutul anilor '40), manipolatoare pentru amplificarea efortului, pentru munci periculoase în mediul radioactiv sau microbiologie etc.

Chiar dacă în 1941 scriitorul SF Isaac Asimov utilizează deja termenul “robotics” pentru a descrie mașinile roboți și preconizează apariția unei dezvoltări industriale puternice a acestora, va fi nevoie de un deceniu și jumătate până când primul robot industrial își va face apariția. Totuși, Asimov are meritul de a fi formulat “Cele trei legi ale roboticii” încă din 1942 [A 3].

Dezideratul apariției roboților - mașini automatizate care se caracterizează prin flexibilitate, cu largi posibilități de utilizare în industrie - va deveni însă posibil doar după dezvoltarea electronicii industriale și a metodelor de control numeric ale mișcării.

Astfel, abia în 1954 inginerul american George Devol proiectează un robot programabil, apoi în 1956 îl brevetează în SUA, iar în final îl și realizează, împreună cu Joseph Engelberger. Acesta din urmă este considerat creatorul primului robot industrial. Robotul a fost denumit „Unimate”, iar compania producătoare a primit numele „Unimation”. Robotul UNIMATE (având acționare hidraulică și programare prin memorarea unghiurilor fiecărei axe) va fi instalat în prima aplicație din lume a unui robot în industrie de către compania Ford, aplicația constând în servirea unei mașini de turnat sub presiune (1961). În același an, corporația americană AMF comercializează robotul Versatran, în coordonate cilindrice și cu acționare hidraulică, proiectat de H. Johnson și V. Milenkovič. [A2]

În perioada următoare apare Vic-Arm, un robot articulată având șase axe programabile cu acționare electrică, mult mai flexibil decât predecesorii săi. Acest nou concept a fost achiziționat de compania Unimation, care – cu sprijinul concernului General Motors - l-a perfecționat și l-a produs în serie sub denumirea „Puma” (de la **P**rogrammable **U**niversal **M**achine for **A**ssembly – Mașina Universală Programabilă pentru Asamblare).

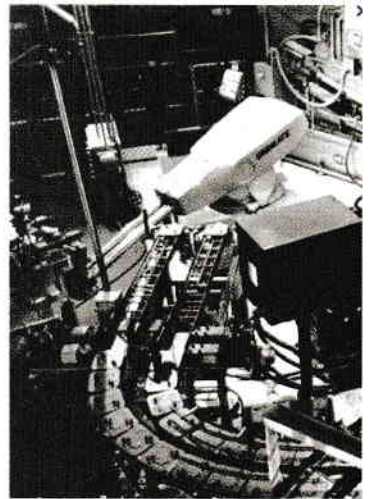
Introducerea robotizării în industria japoneză s-a făcut printr-un import masiv de roboți Versatran în 1967 și prin cumpărarea unei licențe pentru Unimate un an mai târziu, Japonia devenind astfel, (prin concernul Kawasaki Heavy Industries) a doua țară producătoare de roboți.



(a)

(b)

(a)



(b)

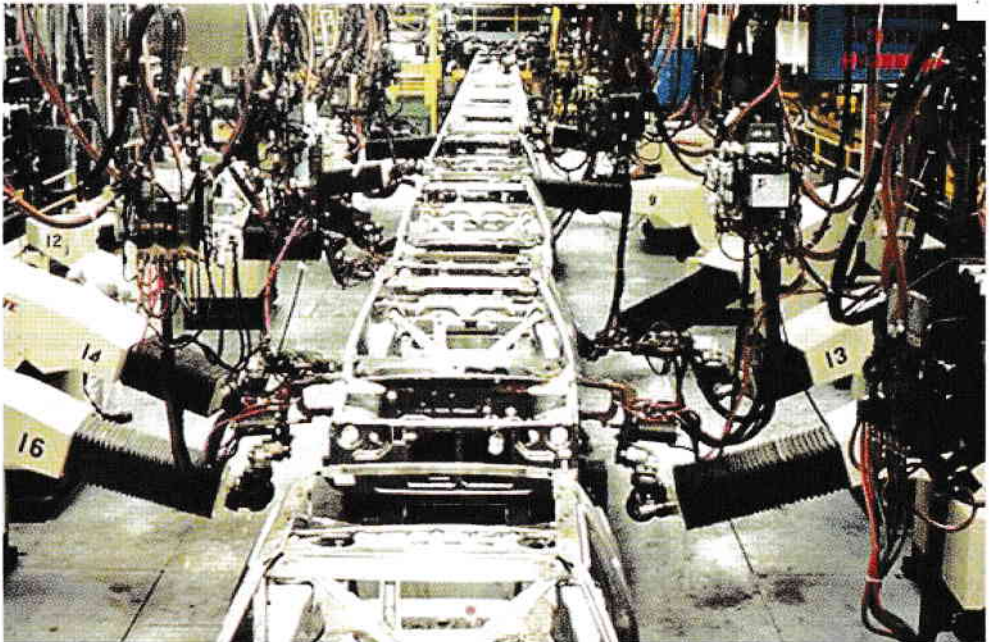
**Figura A1.4 (a) Creatorii primului robot industrial : Inginerul George Devol (stânga) și Joseph Engelberger, omul care a întemeiat compania care l-a produs la scară industrială (dreapta) serviți cu vin chiar de robotul lor. Primul Unimate „angajat” la o uzină a General Motors (b)**

La antipozi, la fabrica norvegiană de mașini agricole TRALLFA din Bryne inginerul Ole Molaug proiectează în anul 1966 un automat de vopsire. Apare ca urmare un robot celebru de vopsire, având numele identic cu cel al firmei, (acționat hidraulic și programat prin conducere / învățare). În anul 1968, General Motors instalează prima linie robotizată de sudură în puncte (la uzina din Lordstown, pentru autoturismul “Vega”), echipată cu 32 de roboți Unimate [5]. Linia era caracterizată de o eficiență economică ridicată, ceea ce a facilitat mult pătrunderea robotizării în industria de automobile. Alți producători de automobile au urmat acest exemplu, determinând o creștere explozivă a productivității muncii în branșă. De exemplu, la uzinele Fiat în Italia, primii roboți au fost introduși în anul 1971, iar celelalte concerne au introdus robotizarea până la mijlocul anilor '70. Erau primele începuturi, interesul pieții pentru roboți fiind la început destul de redus. În acest context, firma Unimate devine rentabilă abia în 1973.

În paralel cu pătrunderea pe verticală a roboților industriali în industria auto, apar primele cercetări pentru găsirea altor principii și soluții în dezvoltarea acestora. În 1973, Richard Hohn dezvoltă pentru corporația Cincinnati Milacron un robot comandat de un minicalculator, denumit “The Tomorrow Tool” ( $T^3$ ) - “unealta zilei de mâine”.

În 1974 firma suedeză ASEA produce primul robot industrial acționat electric cu șase grade de mobilitate, modelul **Irb 6**, cu o capacitate portanta de 60 N. Intrucat in-

dustria avea nevoie de roboti cu portanta mai mare (indeosebi aplicatiile de sudare in puncte a caroseriilor auto necesitau minimum 500 N), a fost dezvoltat în 1975 robotul **Irb 60**. Din 1977, roboții ASEA încep sa fie comandați de microcomputere. În 1990, concernul elvetian Brown Boveri Company – BBC cumpără divizia de robotică a lui Cincinnati Milacron. Are loc apoi fuziunea dintre ASEA și BBC, astfel ca toți roboții fabricați în continuare vor purta denumirea noului concern, ABB.



**Figura A.1.5** Prima linie robotizată din lume, destinată sudării caroseriilor pentru Chevrolet VEGA (uzinele GM, Lordstown, SUA)

Destinați inițial aplicării în locurile unde prezența omului este imposibilă (explorarea mediului marin, a spațiului cosmic, efectuarea unor operații în medii toxice, nucleare, etc.) roboții au parcurs o evoluție rapidă prin diversificarea funcțiilor și adaptarea lor la cerințele activităților industriale. Dezvoltarea roboticii a condus la apariția specializării roboților, desprinzându-se numeroase ramuri referitoare la:

- telemanipulatoare (pentru efectuarea unor manevre în medii periculoase pentru om);
- roboți mobili (utilizați inițial îndeosebi în astronautică și în tehnica militară, astăzi tind să servească omului în aplicații civile, în spitale sau activități casnice și educative);
- roboți și dispozitive robotice pentru explorări în mediul marin sau spațiul cosmic, etc.
- dispozitive protetice tip exoskeleton [A10].

O mare parte din roboți au fost implementați în procesele de producție, înlocuind operatorul uman în operațiile ce se desfășoară în medii nocive și periculoase, în activitățile dificile, obositoare prin efort, monotonie sau în sectoarele de activitate deficitare în forța de muncă specializată și calificată [A2, A6].

Principalele avantaje obținute prin implementarea roboților industriali în procesele de producție sunt:

- a) calitate superioară a produselor, constantă și repetitivă ;
- b) productivitate mărită, atât pe seama reducerii timpilor auxiliari, cât și datorită posibilității utilizării unor procese mai intense decât permite fabricația cu operatori umani;
- c) investițiile nu mai sunt legate de o anumită aplicație, roboții putând fi utilizați în diferite scopuri prin simpla reprogramare a acestora;
- d) timpii de pregătire a fabricației sunt mai reduși;
- e) este posibilă automatizarea operațiilor legate de prelucrările în grup sau în serii mici.

În cazul seriilor mijlocii și mari, în care se tratează simultan, prin tehnologii de grup, un număr mare de variante particularizate și individualizate, robotizarea apare ca singura opțiune posibilă. Aceasta a determinat, în ultimele două decenii, o expansiune fără precedent a utilizării roboților la automatizarea flexibilă a proceselor productive.

Pornind de la aceste considerente se poate afirma că roboții industriali sunt elemente complet noi, independente de utilajele deja existente. Utilizarea lor industrială este însă justificată, doar dacă este însoțită de modificări profunde în structura procesului de producție. Un flux tehnologic în care avem la un moment dat o „insulă” robotizată, de înalt nivel, dar în fața și spatele căreia sunt zone de nivel scăzut - nu are cum să fie performant.

## **A.2. Ce este și cum funcționează un robot ?**

Fondatorul firmei UNIMATION, Joseph Engelberger referindu-se la noțiunea de robot, spunea „Nu știu ce este un robot, dar pot să spun când văd unul”.

Cuvântul robot își are originea în limba cehă „robota” care înseamnă muncă. Conform definiției din dicționarul enciclopedic, el reprezintă un aparat al cărui program conține un sistem complex cu legături inverse (reacție) stabilite la anumite semnale exterioare, fiind capabil de acțiuni dirijate și controlate.

În cele ce urmează, vom încerca – în afara prezentării definiției robotului după diverse standarde – să facem o prezentare de principiu a ceea ce reprezintă robotul, din ce este compus, precum și a roboticii – știința care se ocupă cu roboții.

Robotica este prin definiție o știință multidisciplinară, la constituirea căreia concurează Teoria sistemelor, Fizica, Mecanica, Teoria mecanismelor, Electronica, Automatica, Știința calculatoarelor, Informatica, Tehnologia, Ingineria Industrială și Logistică etc.

După două secole de la apariția primelor automate și roboți androizi, adevărata dezvoltare a roboticii începe în anii '50, când o serie de universități americane au demarat cercetări în acest domeniu. Pe lângă definirea unor concepte esențiale la robotica modernă, acum au loc și primele abordări ale rezolvării unor aspecte industriale, începând cu manipularea unor obiecte grele sau fierbinți și terminând cu deservirea mașinilor unelte.

Primele aplicații industriale ale roboților la automatizarea flexibilă a proceselor de sudare datează din anul 1965. Nu mulți ani mai târziu, în 1968 are loc la uzinele din Lordstown ale companiei GMC o premieră: este pusă în funcțiune prima linie automată de sudare în puncte a caroseriei modelului Chevrolet VEGA.

Primele aplicații industriale ale roboților de sudare cu arcul electric datează din 1971-1972, când exista deja o tradiție în domeniul sudării robotizate prin presiune în puncte. Apariția relativ târzie a roboților utilizați la sudarea cu arcul electric s-a datorat în principal exigențelor în ceea ce privește performanțele robotului. Dacă la sudarea prin presiune în puncte mișcarea pe care trebuie să o asigure robotul este discontinuă, sacadată, roboții pentru sudarea cu arcul electric trebuie să asigure o deplasare continuă, cu viteza variabilă în limite largi precum și o poziționare precisă a capului de sudare față de linia îmbinării (rostul de sudare).

Prin robot se înțelege o mașină mecatronică inteligentă, capabilă să execute operații tehnologice succesive în ordinea în care acestea au fost programate. Ea conține o parte mecanică (de fapt electromecanică), care este robotul propriu-zis și o parte de comandă. Partea mecanică se compune din mai multe mecanisme, antrenate de motoare electrice, capabile să efectueze mișcări de translație sau rotație, denumite axe motoare. Fiecare dintre aceste axe este prevăzută cu dispozitive de măsurare a deplasării, respectiv a vitezelor cu care se fac aceste deplasări.

Aceste axe materializează gradele de mobilitate ale robotului, motoarele fiind comandate de acționări complexe, lucrând de obicei în mai multe cadrane (deci capabile să antreneze sau să frâneze axele robotului). Acționările se află la rândul lor sub comanda unui sistem de comandă (calculator) care analizează secvențial programul de lucru și dă comenzi corespunzătoare de deplasare fiecărei axe. Subliniem ca deplasările sunt controlate atat în viteză, cat și în poziție.

### **Definiția după norma americană ANSI 15-05, însușită și de R.I.A. – Robot Institute of America:**

Robotul este un mecanism multifuncțional manipulator, reprogramabil, proiectat pentru a mișca materiale, piese, unelte sau dispozitive specializate, printr-o serie de mișcări variabile și programate, în vederea realizării unei varietăți de sarcini.

### **Definiția după norma franceză NF 61-100:**

Robotul este un mecanism de manipulare automată, aservit în poziție, reprogramabil, polyvalent, capabil să poziționeze și să orienteze materiale, unelte sau dispozitive specializate, în timpul unor mișcări variabile și programate, destinat unor sarcini variate.

**Definiția după norma franceză germană VDI 2801:**

Roboții industriali sunt automate mobile universale, cu mai multe axe, ale căror mișcări sunt liber programate pe traiectorii sau unghiuri într-o anumită succesiune a mișcărilor și în anumite cazuri comandate prin senzori. Ele pot fi echipate cu dispozitive de prehensiune, scule sau alte mijloace de fabricație și pot îndeplini activități de manipulare sau tehnologice.

**Definiția după norma rusă GOST 25685:**

Robotul industrial este o mașină automată, staționară sau deplasabilă constând din dispozitivul de execuție, având mai multe grade de libertate și din dispozitivul reprogramabil de comandă după program pentru îndeplinirea în procesul de producție a funcțiilor motoare și de comandă.

**Definiția după norma japoneză JISB 0134-1986:**

Robotul industrial este un sistem mecanic dotat cu funcțiile motoare flexibile analoge ale organismelor vii sau combinațiile acestora cu funcții inteligente, sisteme care acționează corespunzător voinței omului.

În contextul acestei ultime definiții prin funcții inteligente se înțelege capacitatea sistemului de a executa cel puțin una din următoarele acțiuni: judecată, recunoaștere, adaptare sau învățare.

Roboții industriali – RI – sunt destinați automatizării flexibile a proceselor de producție în vederea înlocuirii operatorului uman, care desfășoară activități dificile, oboșitoare prin efort, monotone, în sectoare deficitare în forță de muncă specializată și calificată.

**Definiția robotului pentru sudare după norma Asociației Germane de sudură DVS 0922:**

- Roboții industriali pentru sudarea în mediul protector sunt mașini automate universal aplicabile.
- Ei trebuie să aibă cel puțin 3 axe programabile și să permită programarea unor deplasări lineare sau unghiulare fără intervenții mecanice.
- Dacă este necesar sunt ghidați de senzori.
- Sunt echipați cu capete pentru sudare (sau pentru procedee conexe sudării).
- Pot desfășura sarcini variate privind sudarea.

**Definiția robotului industrial după norma ISO - 8373:2012**

Un manipulator reprogramabil multifuncțional, controlat în mod automat, programabil în trei sau mai multe axe, care poate fi fixat fie pe un suport fix, fie într-unul mobil, destinat pentru aplicații de automatizare industrială.

### A.3. Clasificarea roboților industriali

Criteriile de clasificare a roboților industriali conform Organizației Internaționale de Standardizare (ISO) vizează următoarele aspecte:

1. Sursa principală de putere pentru acționare:
  - a) pneumatică;
  - b) hidraulică;
  - c) electrică.
2. Comanda mișcărilor:
  - a) comanda punct cu punct (PTP) - cu sau fără comandă de viteză, continuă sau discontinuă;
  - b) comanda pe traiectorie continuă (CP).
3. Metode de programare:
  - a) prin învățare directă;
  - b) prin generare de traiectorie;
  - c) prin telecomandă;
  - d) off-line.
4. Tipurile de senzori folosiți:
  - a) Senzori detectori de poziție;
  - b) senzori care informează sistemul de comandă cu privire la starea mediului tehnologic ambiant;
  - c) senzori generatori de semnale proporționale cu abaterea.
- 5.. Cinematica mișcărilor axelor care compun robotul și care asigură poziționarea dispozitivului executor în spațiul de lucru :
  - a) cu mișcări de-a lungul axelor carteziene - TTT;
  - b) cu mișcări de rotație în coordonate polare (antropomorfi) - RRR;
  - c) cu mișcări combinate în coordonate cilindrice – RTT ;
  - c) în coordonate sferice - RRT;
  - d) în combinații ale acestor sisteme.

Asociația Franceză de Robotică Industrială (AFRI) propune clasificarea roboților în patru clase:

- Manipulatoare cu comandă sau telemanipulatoare;
- Manipulatoare automate cu cicluri prereglate pneumatice, electrice sau electronice;
- Roboți programabili controlați în bucla de poziție, cu traiectorie continuă sau deplasare punct cu punct;
- Roboți inteligenți având senzori care exclud logica binară simplă și îndeplinesc diferite sarcini cu ajutorul sistemelor de recunoaștere a formelor.

O decizie importantă pe care trebuie să o ia proiectantul de RI constă în stabilirea numărului de elemente T și R. La această alegere trebuie ținut cont de anumite dezavantaje ale translației față de rotație:

- apariția la viteze mici a fenomenului stick-stop;
- raportul cursă utilă / lungime totală dezavantajos pentru curse mici;
- dificultăți tehnologice de execuție.

Pentru a elimina primul dezavantaj se folosesc soluții de transformare a frecării de alunecare în frecare de rostogolire. În cazul în care motorul de acționare este rotativ, pentru transformarea mișcării de rotație în mișcare de translație se folosesc cuple elicoidale cu elemente intermediare de rostogolire sau transmisii de tip pinion – cremalieră.

Cel de al doilea dezavantaj impune folosirea gradelor de mobilitate prin translație pentru cursele mari.

Celelalte două dezavantaje se elimină printr-o tehnologie de execuție atent urmărită.

Pentru a ușura procesul de programare, sistemul de comandă al roboților articulați permite conversia coordonatelor proprii în coordonate cilindrice sau carteziene și invers.

În continuare, se vor prezenta o serie de clasificări ale RI, conform unor standarde cunoscute [A6].

În Tabelul 1. se prezintă propunerea de clasificare a RI făcută de AFNOR:

Tabelul 1.

CRITERIUL DE CLASIFICARE	CLASIFICAREA ROBOȚILOR INDUSTRIALI
0	1
Sursa principală de energie	1. Cu acționare pneumatică 2. Cu acționare hidraulică 3. Cu acționare electrică
Sistemul de comandă al mișcărilor	1. Cu comandă punct cu punct (PTP) - comandă mecanică punct cu punct (discontinuuă) - comandă continuuă punct cu punct - comandă punct cu punct bazată pe comanda vitezei 2. Cu comandă continuuă pe traiectorie (CP)
Metode de programare	1. Cu programare cu secvență variabilă și reglaj mecanic al pozițiilor pe diferite axe 2. Cu programare prin învățare: - învățare prin conducerea normală a brațului robotului (învățare directă) - învățare prin conducerea unui dispozitiv de simulare (prin generare de traiectorie) - învățare prin utilizarea unei unități de programare comandată manual (prin telecomandă) 3. Cu programare exterioară (off line): - programare explicită sau analitică - programare prin definirea obiectivului

Tipul interacțiunii senzoriale	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fără senzori</li> <li>2. Cu sesizare binară (DA-NU) (on - off)</li> <li>3. Cu sesizare adaptivă (continuă)</li> <li>4. Cu sesizare adaptivă multiplă</li> </ol>
--------------------------------	---

Standardele GOST 25685 și ST SEV 5334 clasifică roboții industriali după nouă criterii (Tabelul 2.):

*Tabelul 2.*

CRITERIUL DE CLASIFICARE	CLASIFICAREA ROBOȚILOR INDUSTRIALI
0	1
Specializare	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Speciali</li> <li>2. Specializați</li> <li>3. Universali</li> </ol>
Capacitate de încărcare nominală	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ultra ușori (&lt; 1 kg)</li> <li>2. Ușori (1... 10 kg)</li> <li>3. Medii (10 ... 200 kg)</li> <li>4. Grei (200 ... 1000 kg)</li> <li>5. Supergrei (&gt; 1000 kg)</li> </ol>
Numărul gradelor de mobilitate	2; 3; 4; mai mult de 42
Posibilitatea deplasării	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Staționari</li> <li>2. Mobili</li> </ol>
Modul de instalare la locul de muncă	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pe sol</li> <li>2. Suspendați</li> <li>3. Incorporați</li> </ol>
Sistemul de coordonate	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Carteziene</li> <li>2. Cilindrice</li> <li>3. Sferice</li> <li>4. Unghiulare</li> <li>5. Alte sisteme</li> </ol>
Tipul acționării	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cu acționare electro – mecanică</li> <li>2. Cu acționare hidraulică</li> <li>3. Cu acționare pneumatică</li> <li>4. Cu acționare combinată</li> </ol>
Tipul comenzii	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cu comandă după program <ul style="list-style-type: none"> <li>- cu comanda ciclului</li> <li>- cu comanda punct cu punct</li> <li>- cu comanda pe traiectorie</li> </ul> </li> <li>2. Cu comandă adaptivă <ul style="list-style-type: none"> <li>- cu comanda punct cu punct</li> <li>- cu comanda pe traiectorie</li> </ul> </li> </ol>
Modul de programare	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prin învățare</li> <li>2. Cu programare analitică</li> </ol>