

## **ALIAJE METALICE REZISTENTE LA RADIATII**

Progresul tehnic este legat in mod indiscutabil de cresterea continua a utilizarii de energie electrica. Limitarea rezervelor de materie prima organica, criza de energie si dorinta unui cost rezonabil al productiei de energie electrica au dus impreuna la necesitatea implementarii energiei atomice prin construirea in numar mare a centralelor atomo-electrice in toate tarile dezvoltate ale lumii. Energetica nucleara reprezinta de fapt energetica viitorului.

Din punct de vedere al principiului functionarii, centralele termo-electrice si cele atomo-electrice nu se deosebesc substantial. In ambele tipuri de centrale, apa se aduce pana la punctul de fierbere, iar vaporii formati trec printr-o turbina, obligand-o sa se invarta. Axul turbinei coincide cu axul unui generator, care prin rotire genereaza energie electrica. Deosebirea intre cele doua tipuri de centrale consta in metoda de incalzire a apei pana la fierbere: in centrala termo-electrica este nevoie de carbune sau mazut pentru a incalzi apa, pe cand in centrala atomo-electrica se utilizeaza in acest scop energia termica controlata de reactia de fuziune a uraniului.

### ***1 - Componentele de baza ale unui reactor nuclear modern***

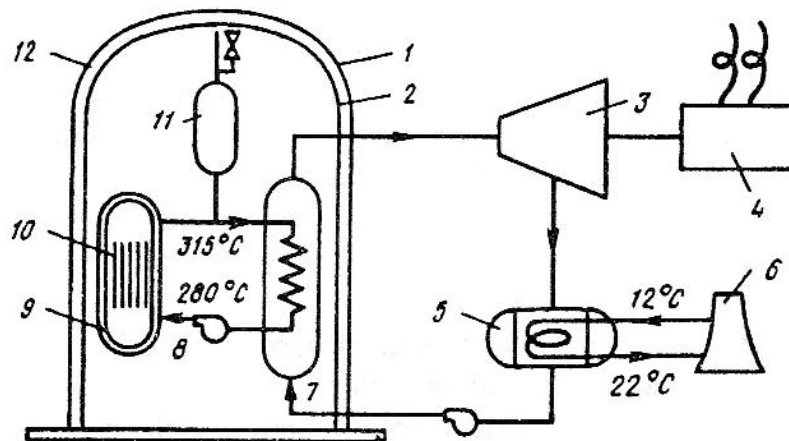
La ora actuala, pentru producerea energiei electrice, in majoritatea tarilor se utilizeaza reactoare nucleare - LWR (Light Water Reactor), cu cele doua tipuri existente: reactor tip PWR (Pression Water Reactor) si reactor tip BWR (Boiling Water Reactor), ultimul fiind cel mai raspandit.

In Tabelul 30 sunt indicate cateva materiale utilizate pentru reactoare nucleare. In figura 59 este aratata schema unei centrale atomo-electrice cu un reactor de tip BWR. In corpul reactorului se afla zona activa si circuitul primar corespunzator apei ca agent termic si de franare. Apa transporta caldura din zona activa spre schimbatorul de caldura (generatorul de vaporii) in care caldura este transmisa celui de-al doilea circuit unde se formeaza vaporii. Transformarea energiei are loc in turbogenerator, unde vaporii genereaza energie electrica. Circuitul primar cu toate conductele si componentele este inclus intr-o constructie speciala numita container. Astfel, orice produse de fuziune radioactivi care pot apare in apa circuitului primar, sunt izolati de mediul exterior. In circuitul primar apa se afla la o presiune de 15,5 MPa si la o temperatura de 315°C, apa fiind astfel impiedicata sa fiarba, punctul sau de fierbere la o asemenea presiune fiind mult superior valorii de 315°C.

Tabelul 30 - Componentele si materialele unui reactor nuclear

Component	Utilizarea	Materialul
Combustibil	Pentru realizarea reactiei de fuziune si degajarea de energie	$^{233}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{239}\text{U}$ , $^{241}\text{U}$
Agent termic	Pentru extragerea caldurii din zona activa a reactorului	Apa obisnuita, apa grea, lichide organice, $\text{CO}_2$ , aer, He, Na, Bi, eutectic Na-K
Agent de franare	Pentru incetinirea fuziunii rapide a neutronilor	Apa obisnuita, apa grea, grafit, Be, oxid de beriliu
Agent de reflexie	Pentru diminuarea scurgerilor de neutroni, pentru protectia personalului de radiatia ionizanta	— „ —
Bare conducatoare	Pentru controlul puterii	Cd, B, Hf, Gd, Ag, In
Materiale de constructie	Pentru invelisul combustibilului, pentru constructia zonei active	Otel inox Cr-Ni, aliaje pe baza de Al si Zr

Figura 59 - Schema transmisiei de caldura intre elementele unei centrale atomo-electrice cu un reactor de tip PWR: 1 - strat de beton; 2 - strat inoxidabil; 3 - turbina; 4 - generator; 5 - condensator; 6 - gradier; 7 - generator de aburi; 8 - pompa; 9 - corpul reactorului; 10 - zona activa; 11 - compensator de presiune; 12 - container;



Combustibilul este format din dioxid de uraniu slab imbogatit ( $\text{UO}_2$ ), sub forma de tablete cilindrice de 8 x 12 mm. Aceste tablete sunt introduse in cilindri speciali umpluti cu heliu si inchisi ermetic. Se obtin astfel niste bare foarte lungi cu diametrul de  $\sim 10$  mm, care sunt apoi asamblate in grupuri. Un astfel de grup reprezinta o unitate termica, ce contine o cantitate foarte mare de energie. O centrala de 1000 MW are in jur de 200 de astfel de unitati termice si intre 40000 - 50000 de bare cu dioxid de uraniu. Cantitatea totala de combustibil in zona activa a unui reactor PWR, de putere 1000 MW, este intre 100-110 tone de dioxid de uraniu.

Costul unei asemenea centrale care genereaza si transmite energie electrica, incluzand corpul reactorului, schimbatoarele de caldura, pompele, recipientii, conductele, reprezinta ~ 90% din costul total al centralei. Toate aceste instalatii trebuiesc construite fara nici un fel de abateri de constructie, utilizand materiale economice, dar garantate.

## ***2 - Deteriorarea prin iradiere a materialelor de constructie***

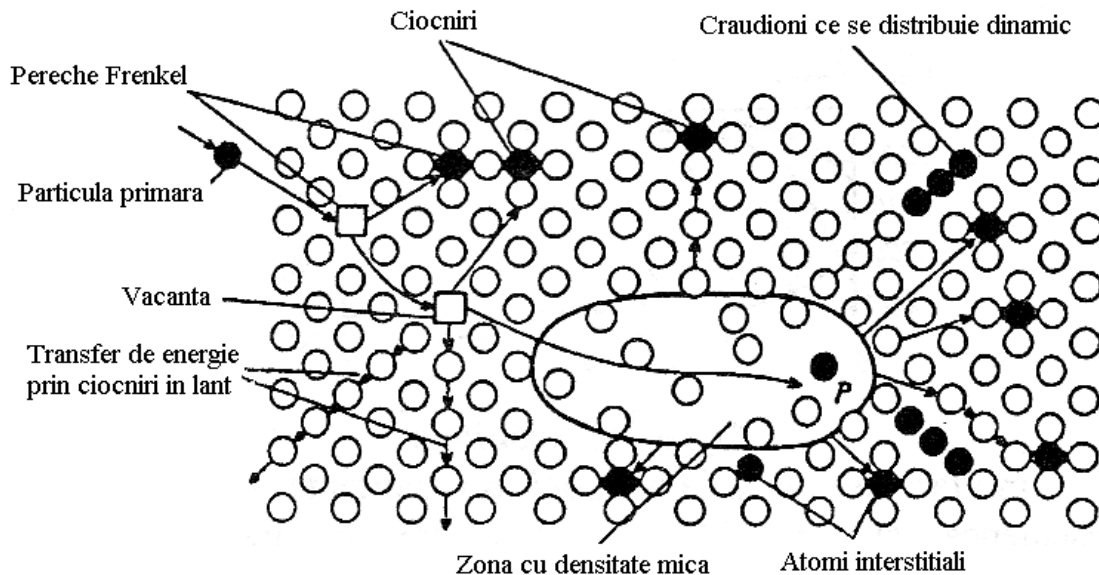
Sub actiunea radiatiilor, materialele de constructie sufera transformari structurale ce au o influenta negativa asupra proprietatilor mecanice si asupra rezistentei la coroziune. Dintre toate tipurile de radiatii (cu neutroni, cu particule  $\alpha$  sau  $\beta$ , radiatia  $\gamma$ ), cea mai puternica influenta o are radiatia cu neutroni.

Materialele care-si pastreaza stabilitatea structurala si proprietatile sub actiunea radiatiei cu neutroni, se numesc materiale stabile la radiatii. Mediul radioactiv este caracterizat prin spectrul neutronic si prin fluxul de neutroni. Spectrul se determina prin nivelele discrete energetice ale neutronilor. In functie de energia neutronilor necesara pentru desfasurarea reactiei nucleare in lant, se deosebesc doua tipuri de reactoare: cu neutroni lenti (termici) si cu neutroni rapizi. Fluxul de neutroni este caracterizat de intensitatea mediului radioactiv si se exprima prin numarul de neutroni cu energia  $E > 0,1 \text{ MeV}$ , ce traverseaza o sectiune de  $1 \text{ cm}^2$  intr-o secunda (neutroni /  $(\text{cm}^2 \text{ s})$ ). Fluxul de neutroni caracterizeaza doza sumara de radiatie si reprezinta masura acumularii activitatii radioactive.

In figura 60 este aratat modul in care se deterioreaza reseaua cristalina in urma interactiunii atomilor cu neutroni de energie mare. Interactiunile produc dislocari ale atomilor sau o cascada de dislocari in retea in functie de cantitatea de energie transmisa de neutron atomului de metal. Primul atom ce a fost bombardat de neutron, ca in biliard, va lovi alti atomi, generand astfel in retea si alte dislocari.

In urma acestei cascade de dislocari se genereaza volume cu o densitate mare de vacante, avand la periferie o concentratie mare de atomi interstitiali. Un singur neutron este capabil sa creeze in Al, de exemplu, mai mult de 6000 de vacante, iar in beriliu, care are o energie a legaturii interatomice mai mare, mai mult de 450 de vacante.

*Figura 60 - Modelul defectelor ce apar ca urmare a iradierii, cauzate de ciocnirea neutronilor cu atomii rețelei cristaline*

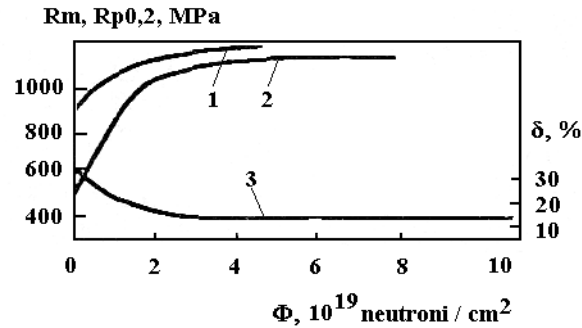


În afara de dislocări, fluxurile puternice de neutroni excita atomii și intensifică vibrația acestora, care este însoțită de ridicarea locală a temperaturii. Creșterea temperaturii facilitează reoacerea prin iradiere, care presupune anihilarea de vacanțe și de atomi interstitali. Temperaturile ridicate și radiația cu neutroni pot induce în material reacții nucleare cu formarea de heliu, care duce la randul său la apariția de bule de gaz la limita de graunte.

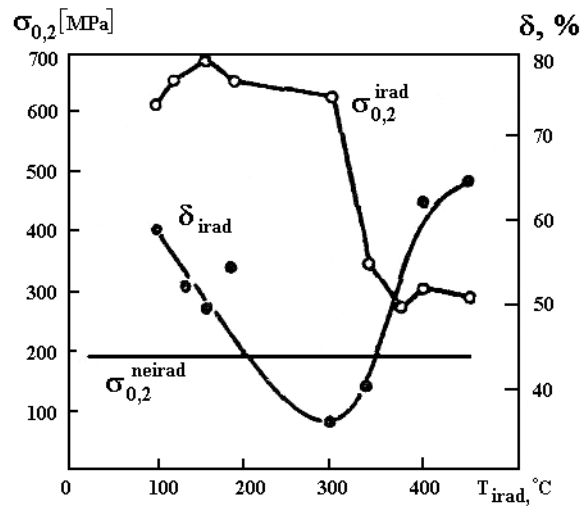
Transformările structurale duc la schimbarea proprietăților mecanice. Ca urmare, la o temperatură mai mică decât temperatura de recristalizare - iradiere de joasă temperatură - metalul se durifică, dar pierde din tenacitate și plasticitate. Influența fluxului de neutroni  $\Phi$  asupra rezistenței mecanice, rezistenței la curgere și asupra plasticității la 20°C pentru un oțel austenitic Cr-Ni este arată în figura 61. Oțelul are rezistență maximă pentru  $\Phi = 3 \times 10^{19}$  neutroni / cm<sup>2</sup>,  $R_{p0,2}$  având o creștere mai rapidă decât  $R_m$ , fapt ce scade capacitatea de ecrusare. Creșterea ulterioară a fluxului nu mai are practic nici o influență asupra proprietăților oțelului.

În afara de fluxul de neutroni, o importanță deosebită o are, de asemenea, și valoarea de temperatură la care are loc iradierea sub  $T_{\text{recristalizare}}$  (de joasă temperatură - figura 62). Cea mai puternică fragilizare o suferă oțelurile austenitice prin iradierea în intervalul de temperaturi 250 - 350°C. Plasticitatea aliajelor de titan scade și ea prin iradiere. Dar, spre deosebire de oțeluri, acestea nu suferă o scădere de plasticitate în același interval de temperaturi (figura 63).

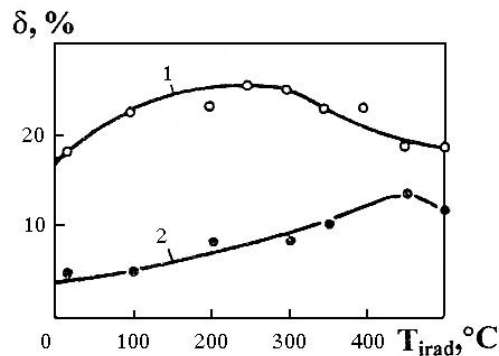
*Figura 61 - Variatia proprietatilor mecanice la 20°C pentru otelul 12Cr-18Ni-10Ti dupa iradiere cu neutroni la joasa temperatura: 1 - Rm; 2 - Rp0,2; 3 -  $\delta$ ;*



*Figura 62 - Influenta temperaturii de iradiere ( $7 \cdot 10^{20}$  neutroni /  $cm^2$ ) pentru otelul A304 (18Cr-9Ni) asupra variatiei proprietatilor mecanice la temperatura camerei*



*Figura 63 - Capacitatea de deformare a aliajului  $\alpha$  pe baza de titan inainte (1) si dupa (2) iradiere ( $2 \cdot 10^{21}$  neutroni /  $cm^2$ ;  $T_{irad} \sim 250^\circ C$ ;  $E > 1$  MeV)*

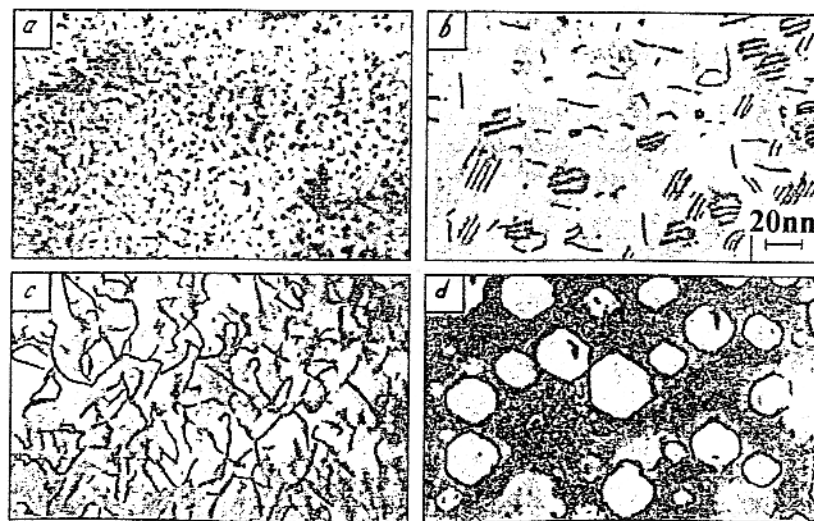


Actiunea iradierii de joasa temperatura asupra proprietatilor aminteste procesul de ecrusare. Cu toate acestea, mecanismele de deteriorare prin radiatii si prin ecrusare a structurii materialului sunt principal diferite, deoarece deteriorarea prin radiatii este legata in principal de

formarea de defecte punctiforme de retea, pe cand durificarea prin deformare este legata de aparitia defectelor liniare.

In conditiile unei iradiieri la temperaturi mai mari decat temperatura de recrystalizare (iradiere de temperatura inalta), rolul defectelor punctiforme rezultate in urma radiatiilor scade foarte mult. Vacantele si atomii interstitiali, partial se anihileaza reciproc, partial interactioneaza cu impuritatile, dislocatiile, sau limitele de graunte. Atomii interstitiali si vacantele ramase se unesc in clasteri, care la randul lor se pot transforma in bucle de dislocatii interstitiale, sau tip vacanta.

*Figura 64 - Evolutia structurii defectuoase a otelului austenitic sub actiunea radiatiei ionilor de crom ( $E=1\text{MeV}$ ): a) clasteri de defecte punctiforme pentru o iradiere de 0,1disloc / atom; b) bucle de dislocatii; c) retea de dislocatii; d) pori de vacante;*

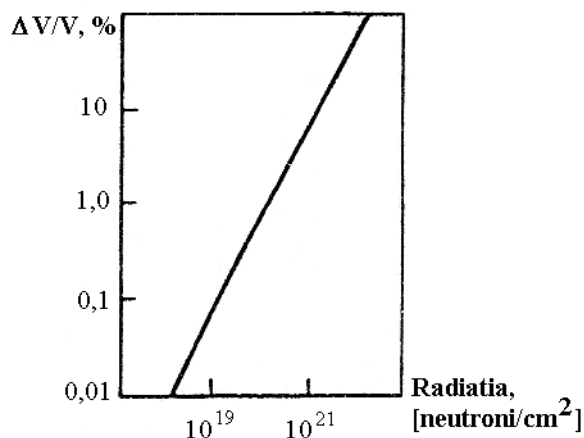


Iradieria de temperatura inalta activeaza procesele de difuzie, facilitand precipitarile din solutiile solide suprasaturate, deci a imbatranirii. Prin acest fenomen se explica, de exemplu, fragilizarea de temperatura inalta a otelurilor austenitice crom-nichel. Tot prin activarea proceselor de difuzie se explica si scaderea rezistentei prin iradiere. Scaderea refractaritatiei se accentueaza cu cresterea temperaturii si cu intensitatea fluxului de neutroni.

Prin iradierea de temperatura inalta cu flux mare de neutroni, in otelurile austenitice si in aliajele pe baza de Ni, Ti, Mo, Zr, Be, apar si se dezvoltă clasteri de vacante, iar atomii interstitiali cu o mai mare mobilitate sufera deplasari mult mai mari (spre dislocatii marginale, sau limite de graunte), fapt ce duce la o crestere vizibila a volumului metalului - dilatarea prin radiatii. Volumul otelurilor austenitice, iradiate la  $450^{\circ}\text{C}$ , creste liniar cu ridicarea fluxului de neutroni (figura 65). Volumul poate creste cu 20% sau chiar mai mult daca, ca urmare a iradierii,

se acumuleaza gaze in micropori.

*Figura 65 - Influenta radiatiei la 450 °C asupra cresterii relative de volum pentru otelul austenitic 12Cr-18Ni-10Ti*



Alierea otelurilor Cr-Ni cu Ti, Mo, Nb scade din intensitatea dilatarii volumului prin iradiere. Otelurile feritice si perlitice inalt aliate cu crom cu o solubilitate foarte scazuta a hidrogenului se caracterizeaza si ele printr-o tendinta mai scazuta spre dilatare. Actiunea iradierii asupra materialelor polimerice duce la ruperea lanturilor polimerice. Dislocarea fragmentelor de lanturi precum si a radicalilor liberi modifica proprietatile polimerilor, ducand la ruperea acestora. Exemple de astfel de modificari de proprietati ale catorva materiale sub actiunea radiatiei cu neutroni sunt aratate in Tabelul 31.

*Tabelul 31 - Actiunea radiatiei de neutroni asupra diferitelor materiale*

Fluxul integral al neutronilor accelerati, neutroni / cm <sup>2</sup>	Materialul	Actiunea radiatiei
10 <sup>14</sup> -10 <sup>15</sup>	Politetraftoretlen, polimetilmetacrilat si celuloze	Scaderea rezistentei la intindere
10 <sup>16</sup>	Cauciuc	Scaderea elasticitatii
10 <sup>17</sup>	Lichide organice	Formarea de gaze
10 <sup>18</sup> - 10 <sup>19</sup>	Metale Polistirol	Cresterea evidenta a limitei de curgere Scaderea rezistentei la intindere
10 <sup>20</sup>	Materiale ceramice	Scaderea conductibilitatii termice, a densitatii si a cristalinitatii
	Toate masele plastice	Inutilizabile ca materiale de constructie
	Otel carbon	Scaderea semnificativa a plasticitatii, dublarea limitei de curgere, cresterea temperaturii ductil-fragil
10 <sup>20</sup> - 10 <sup>21</sup>	Otel inoxidabil	Triplarea limitei de curgere
10 <sup>21</sup>	Aliaie de Al	Scaderea plasticitatii fara fragilizare integrala

La iradiere scade puternic rezistenta la coroziune a metalelor si aliajelor. Cum in centralele atomo-electrice apa si vaporii de apa reprezinta purtatorii de caldura, sub actiunea radiolizei moleculele de apa se distrug, formandu-se ioni si atomi de oxigen, hidrogen, sau gruparea hidroxil  $\text{OH}^-$ .

Materialele de constructie pentru reactoarele nucleare supuse radiatiilor lucreaza in contact direct cu apa sau cu vaporii de apa. Oxigenul format ataca metalul oxidandu-l, iar hidrogenul il fragilizeaza. Cresterea concentratiei gruparii  $\text{OH}^-$  faciliteaza dizolvarea peliculelor superficiale de oxid, care in conditii normale ar fi protejat metalul impotriva coroziunii. Viteza de coroziune a aliajelor pe baza de Al in mediu apos in conditii de iradiere creste de 2-3 ori. Otelurile austenitice Cr-Ni in mediu de vaporii de apa se corodeaza intercrystalin, fisurandu-se astfel prin coroziune.

### ***3 - Compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii***

#### ***a) Materiale utilizate pentru corpul centralelor atomo-electrice***

Pentru scheletul corpurilor centralelor atomo-electrice, in SUA se utilizeaza otelurile feritice slab aliate, cu carbon scazut de tipul A508-2 si A533 (conform ASTM). Otelurile sunt aliate cu mangan si molibden, iar otelul A508-2 are in plus nichel si crom. Dupa imbunatatire, otelurile se caracterizeaza prin rezistenta si tenacitate ridicate, avand in plus o sudabilitate foarte buna datorita continutului scazut de carbon. Conditii tehnice impuse de ASTM acestor oteluri, pentru cresterea rezistentei la radiatii, stabilesc un continut minimal de impuritati ( $< 0,012\% \text{P}$  si  $0,015\% \text{S}$ ) si mai ales de cupru si vanadiu ( $< 0,1\% \text{Cu}$  si  $0,06\% \text{V}$ ).

Cercetarile efectuate cu ajutorul spectroscopiei Auger, referitoare la limita de graunte si la suprafetele de rupere, au aratat o concentratie neobisnuit de mare de sulf in suprafata de rupere a imbinarilor sudate, in care continutul in volum de S era in jurul valorii de  $0,010\%$ .

Aceste oteluri feritice pierd rapid din rezistenta, odata cu cresterea temperaturii, neavand o suficienta rezistenta la coroziune. De aceea, suprafetele interioare ale tuturor componentelor din corpul reactorului sunt placate cu oteluri Cr-Ni austenitice inoxidabile din seria 300 AISI. Compozitia chimica si proprietatile acestor oteluri precum si a altor oteluri rezistente la radiatii sunt indicate in tabelul 32.



Tabelul 32 - Compozitia otelurilor utilizate in constructia reactoarelor nucleare, % at

Marca otelului	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Alte elem.
<b>Oteluri carbon si slab aliate feritice</b>								
A508/2	0,27	-	0,7	0,35	0,7	0,6	0,05	Cu<0,1
A533	0,23	0,15-0,3	1,15-1,5	-	-	0,45-0,6	0,05	Cu<0,1
<b>Oteluri inox feritice</b>								
AISI :								
403	0,15	0,5	-	11,5-13	-	1		-
410	0,15	1,0	-	11,5-13,5	-	1		-
Suedia : HT9	0,20	0,4	1,0	11,5	-	0,55	0,3	0,5W
Franta : R8	0,10	0,3	2,0	9,5	-	1	0,35	0,5Nb
Japonia : HCM9M	<0,06	0,5	1,8-2,2	8-10	-	0,3-0,7	-	-
<b>Oteluri inox austenitice</b>								
AISI :								
304	0,08	1	2	18-20	8-12	2		
304L	0,03	1	2	18-20	8-12	2		
316	0,08	1	2	16-18	10-14	2		
316L	0,03	1	2	16-18	10-14	2-3		
321	0,08	1	2	17-19	9-12	-		Ti>5x%C
347	0,08	1	2	17-19	9-12	-		Nb>10x%C

Se utilizeaza oteluri de tipul 304 (Ni90Cr180), 316 (Ni120Cr180), 304L, 316L, aliate suplimentar cu molibden. Litera L indica continutul scazut de carbon, care in aceste oteluri este de 0,03% fata de valoarea de 0,08% corespunzatoare otelurilor clasice.

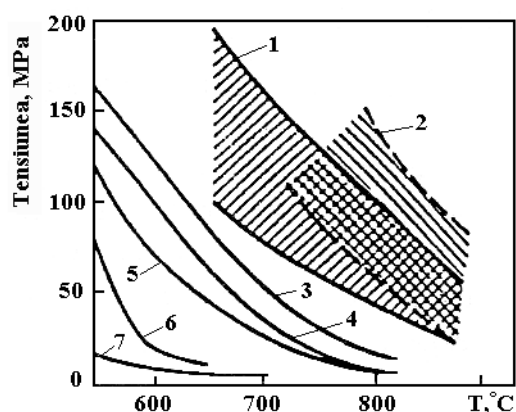
Otelurile cu continut de carbon scazut au o rezistenta la coroziune mult mai ridicata, mai ales la cea intercrystalina si sub presiune. Compozitia otelurilor austenitice din alte tari sunt apropiate de cele americane.

Corpul reactorului cu metal lichid, ce lucreaza la temperaturi mult mai ridicate, este fabricat in intregime din oteluri de tipul 304 si 316, tocmai pentru a evita fluajul. Corpul reactoarelor moderne HTGR lucreaza la temperaturi si presiuni si mai ridicate in zona activa (~700°C si respectiv 7,25 MPa).

Pentru acestea se utilizeaza aliaje pe baza de nichel si cobalt, aliate cu crom si molibden. Rezistenta la fluaj a acestor aliaje speciale este de aproximativ 2 ori mai mare decat cea a otelurilor 18/8 austenitice la temperatura de 650°C, iar la temperaturi mai ridicate aceasta diferenta creste (figura 66). Proprietatile mecanice ale otelurilor austenitice inoxidabile CrNi la temperatura camerei sunt indicate mai jos :

Marca otelului	304	304L	316	316L	347
Rezistenta mecanica, MPa	552	483	517	483	552
Limita de curgere, MPa	207	172	207	207	207
Alungirea relativa A5, %	50	40	40	40	40
Contractie relativa, %	60	60	50	60	50
Modulul Young, GPa	200	200	200	200	200
Duritate Brinell	180	180	200	180	200
Rezistenta la fluaj, MPa, la 538°C: pentru o deformatie de 1 % timp de 10000h	131	131	165	165	221
pentru o deformatie de 1% timp de 100000h	90	90	103	103	186

*Figura 66 - Rezistenta comparativa la fluaj pentru diferite aliaje: 1- aliaje speciale dupa un tratament prin presiune; 2- aliaje speciale turnate; 3- otel de tip 18-8 cu Mo; 4- otel de tipul 25-20; 5- otel de tipul 18-8; 6- otel cu 0,5%Mo; 7- otel carbon ;*



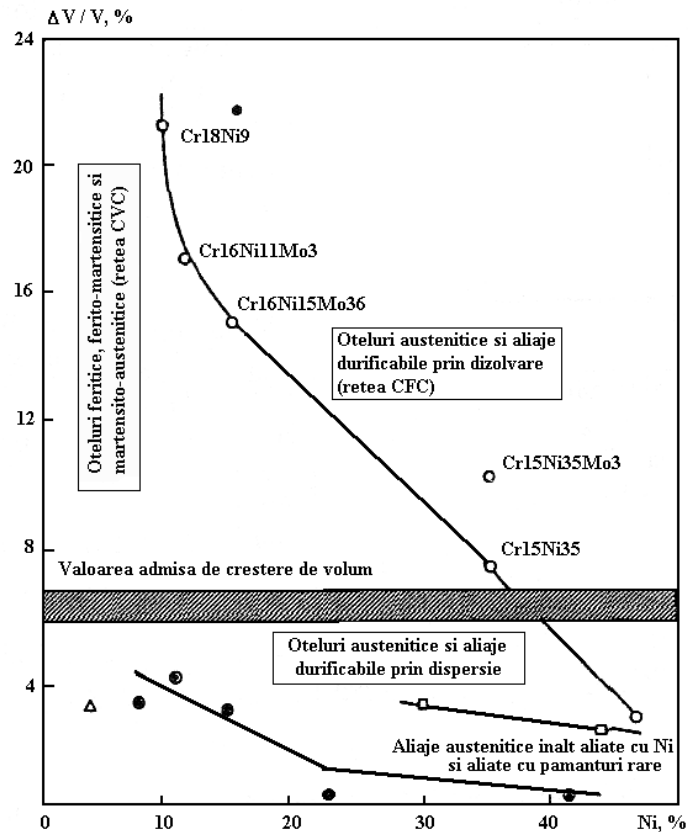
Fenomenul cel mai periculos care poate apare in urma iradierii este cresterea in volum a materialului metalic ( $\Delta V/V$ ) sau "umflarea" aliajului. In figura 67 sunt indicate caracteristicile acestei "umflari" datorata iradierii a o serie de oteluri si aliaje. Acest fenomen poate fi impiedicat printr-o recombinare structurala a aliajelor ce consta dintr-o descompunere neintrerupta a solutiei solide suprasaturate, insotita de o dilatare la limita dintre matrice si faza secundara ce se formeaza. Campul de tensiuni structurale care i-a nastere la descompunerea solutiei solide duce la recombinarea defectelor datorate iradierii, diminuand simtitor fenomenul de "umflare".

Aceasta diminuare se semnaleaza si prin cresterea continutului de nichel, putand fi in intregime evitata pentru o concentratie de 40%Ni (figura 68). Alierea cu titan si aluminiu faciliteaza trecerea otelurilor in grupa materialelor durificabile prin dispersie, ceea ce permite micsorarea continutului ridicat de nichel, impiedicand in intregime fenomenul de « umflare ».

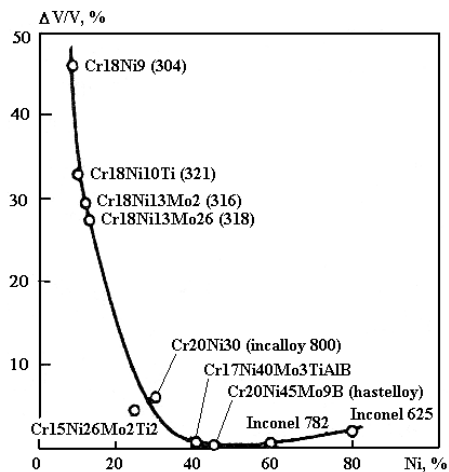
Durificarea prin dispersie este ajutata si de modificarea otelului cu elemente din grupa pamanturilor rare - ytriu si prazeodim. Rezistenta la "umflare" se atinge si pentru otelurile aliate

"economic" cu nichel, cum sunt cele cu 23%Ni, 12%Cr, 3%Ti, 4%Zr, Mo (12Cr-23Ni-3Ti-4Zr-Mo), cu 15%Ni, 15%Cr, 3%Mo, 4%Zr, Ti (15Cr-15Ni-3Mo-4Zr-Ti), sau cu 11%Ni, 15%Cr, 2%Ti, 4%Zr (15Cr-11Ni-4Zr-2Ti).

*Figura 67 - Dependenta dintre cresterea de volum prin iradiere a otelurilor si aliajelor cu retea CVC si CFC, in functie de %Ni*



*Figura 68 - Influenta continutului de nichel asupra cresterii de volum datorat iradierii pentru diferite aliaje si oțeluri austenitice Cr-Ni: iradiere cu ioni de  $Ni^{2+}$  cu o energie de 5MeV si un flux de  $10^{17}$  neutroni /  $cm^2$  la 635°C*

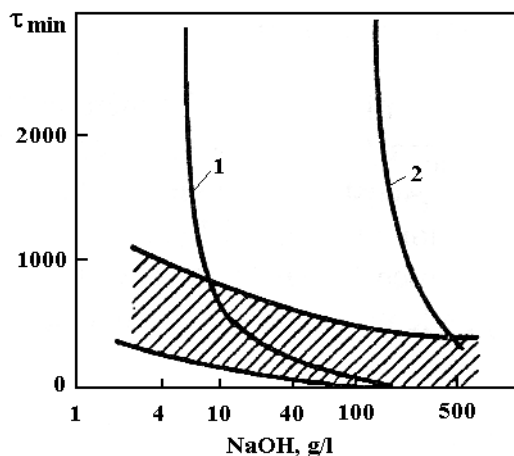


### ***b) Materiale pentru schimbatoarele de caldura utilizate in centralele atomice***

In reactoarele nucleare se utilizeaza mari generatoare de aburi, cu ajutorul carora se realizeaza transferul de caldura de la primul circuit spre cel de-al doilea. Acest transfer de caldura se face prin peretii tuburilor generatoarelor cu aburi. Materialul acestor tuburi trebuie sa aiba stabilitate termica si rezistenta la coroziune, mai ales in cel de-al doilea circuit, unde mediul este mult mai agresiv. Initial, pentru obtinerea acestor oteluri se utilizau cele de tipul 18-8 sau 18-12. O siguranta mult mai mare o au tevilor obtinute prin deformare plastica la rece din aliaje pe baza de nichel. In SUA, de exemplu, se utilizeaza in acest scop aliajul inconel 600, care are 60,5%Ni, 23%Cr, 14,1 %Fe si mici cantitati de alte elemente. In Germania se utilizeaza in schimb inconel 800 (34%Ni, 21%Cr, 43%Fe). Inconel 600 prezinta caracteristici de rezistenta ridicate si o rezistenta buna la fluaj pana la 630-650°C, peste aceste valori de temperatura rezistenta la fluaj scazand brusc.

In zona celui de-al doilea circuit, din cauza unei defectuoase circulatii si deci a unei acumulari de impuritati, se poate forma un mediu alcalin. In medii alcaline, la temperaturi ridicate, apare pericolul fisurarii datorat coroziunii intercristaline. Impuritatile si gazele dizolvate in apa (hidrogen, oxigen, azot) favorizeaza coroziunea. In figura 69 sunt indicate datele referitoare la sensibilitatea la coroziunea fisuranta (dependenta de concentratia alcalina) a materialelor de baza utilizate pentru tuburile schimbatoare de caldura.

*Figura 69 - Influenta concentratiei de NaOH la 350 °C asupra valorilor minime de timp necesar pana la formarea unei fisuri de adancime 100  $\mu$ m. Compararea sensibilitatii la coroziune fisuranta pentru otelurile inoxidabile de tipul 316 (1), inconel 800 (2), inconel 600 (zona hasurata).*



Din trei materiale studiate stabilitatea cea mai mare la coroziunea fisuranta o are aliajul Inconel 800. Siguranta mare o au si aliajele de titan, mai ales in medii agresive. Insa utilizarea acestora este impiedicata deocamdata de pretul ridicat atat al titanului, cat si a tehnologiei de fabricatie.

***c) Materialele de constructie pentru elementele exoterme utilizate pentru centralele nucleare***

Elementele exoterme din centralele nucleare sunt tevile lungi in care se incarca combustibilul sub forma de tablete din oxid de uraniu, sau amestec de oxid de uraniu si oxid de plutoniu. Tevile au rol de invelis si reprezinta o bariera ce impiedica iesirea in circuit a produsilor de reactie ce rezulta din combustibil in urma iradierii. Constructia acestor elemente trebuie sa permita realizarea unui circuit al combustibilului, avantajos din punct de vedere economic. Pe langa o stabilitate ridicata la radiatii, aceste elemente trebuie sa prezinte si o mare siguranta in serviciu. Prima cerinta in acest ultim sens este aceea de a avea o sectiune foarte scazuta de captare a neutronilor. Cea de-a doua se refera la necesitatea unor caracteristici mecanice si de rezistenta la coroziune ridicate.

In cazul primelor reactoare nucleare s-au utilizat otelurile inoxidabile austenitice Cr-Ni cu caracteristici anticorozive si mecanice ridicate, dar care aveau insa o susceptibilitate la "umflare" foarte ridicata sub actiunea radiatiei de neutroni si de asemenea o sectiune prea mare de captare a neutronilor.

In schimbul acestor oteluri inoxidabile s-au introdus aliaje pe baza de zirconiu - zircaloy. Acest aliaj prezinta o sectiune de captare a neutronilor de 15 ori mai mica decat a otelurilor utilizate anterior, un coeficient foarte scazut al dilatarii liniare, o rezistenta buna la fluaj si o plasticitate ridicata.