



Ricerca di Sistema elettrico

Specifica tecnica per la fornitura di piastre di acciaio 15-15 Ti AIM1

Massimo Angiolini, Luciano Pilloni

SPECIFICA TECNICA PER LA FORNITURA DI PIASTRE DI ACCIAIO 15-15 Ti AIM1

Massimo Angiolini, Luciano Pilloni (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

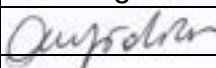
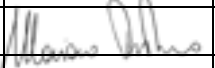
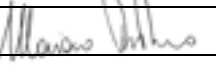
Area: Generazione di Energia Elettrica con Basse Emissioni di Carbonio

Progetto: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione.

Linea: Collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione

Obiettivo: Sviluppo Materiali e Chimica del Refrigerante

Responsabile del Progetto: Mariano Tarantino, ENEA

 Ricerca Sistema Elettrico			Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 148		Distrib. L	Pag. 1	di 8
Titolo Specifica tecnica per la fornitura di piastre di acciaio 15-15 Ti AIM1							
Descrittori Tipologia del documento: Rapporto Tecnico Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE su sicurezza nucleare e reattori di IV generazione Argomenti trattati: Caratterizzazione dei Materiali Tecnologia dei Metalli Liquidi							
Sommario Nel presente documento vengono definiti i requisiti dei materiali, i processi di lavorazione ed i controlli relativi alla produzione di una colata di acciaio austenitico stabilizzato al titanio ed alla produzione da questa di semilavorati							
Note Autori: M. Angiolini, L. Pilloni							
Copia n.			In carico a:				
2			NOME				
			FIRMA				
1			NOME				
			FIRMA				
0	EMISSIONE	04/12/2017	NOME	M. Angiolini	M. Tarantino	M. Tarantino	
			FIRMA				
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE	

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 148	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 2	di 8
--	--	------------------	----------------------	------------------	----------------

Indice

1	Introduzione	3
2	Scopo.....	6
3	Composizione chimica	6
4	Procedura di produzione	6
5	Caratteristiche dei lingotti.....	6
6	Produzione di piastre incrudite al 20-25%.....	7
7	Caratteristiche delle piastre dopo la laminazione a freddo.....	7
8	Imballaggio e spedizione.....	8
9	Certificazioni	8
10	Accettazione	8
11	Durata della Fornitura, Penali, Pagamenti	8

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 148	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 3	di 8
--	--	------------------	----------------------	------------------	----------------

1 Introduzione

I reattori nucleari di IV generazione (Gen IV) sono un gruppo di progetti relativi a reattori nucleari a fissione innovativi proposti dall' Generation IV International Forum (GIF) fondato nel 2000 dal Department of Energy degli Stati Uniti d'America ed a cui hanno aderito molti paesi, e fra essi l'Italia attraverso EURATOM. I sistemi nucleari proposti dal GIF sono sistemi finalizzati a garantire i seguenti requisiti:

- sostenibilità, ovvero massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi, sia in termini di inventario che di radiotossicità;
- economicità, ovvero basso costo del ciclo di vita dell'impianto e rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;
- sicurezza e affidabilità; bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore, capacità di tollerare gravi errori umani ed eventi naturali catastrofici;
- resistenza alla proliferazione e protezione fisica tali da scoraggiare il furto o la produzione non dichiarata di materiale nucleare o l'uso illecito della tecnologia.

Tra le tecnologie nucleari Gen IV più promettenti, un ruolo molto importante è ricoperto dai reattori veloci refrigerati a piombo (Lead cooled Fast Reactor, LFR), poiché soddisfano potenzialmente tutti i requisiti richiesti.

Il piombo presenta ottime proprietà nucleari che consentono l'esercizio di un reattore a spettro "veloce" con una lunga durata del nocciolo ed una elevata efficienza di utilizzo del combustibile, di molto superiore agli attuali sistemi nucleari. Il flusso neutronico veloce permette inoltre di realizzare un sistema autofertilizzante con un ciclo del combustibile "chiuso", quindi una drastica riduzione della quantità e radiotossicità delle scorie.

I sistemi LFR sono ideati e progettati per essere semplici. Il piombo non interagisce chimicamente con aria e acqua, e ha una bassa tensione di vapore. Ciò consente di realizzare sistemi a bassa pressione e di installare il generatore di vapore direttamente nel sistema primario, con una notevole semplificazione impiantistica e una riduzione di complessità, dimensioni e costi di impianto.

I sistemi LFR, grazie alle caratteristiche termodinamiche del piombo e alle ottime capacità di intrappolare i prodotti di fissione anche volatili e di schermare le radiazioni gamma, sono caratterizzati da elevati standard di sicurezza e affidabilità durante l'esercizio. L'utilizzo del piombo favorisce, inoltre, l'asportazione della potenza di decadimento in regime di circolazione naturale, permettendo una sensibile semplificazione dei sistemi di protezione.

Nei LFR viene utilizzato combustibile a ossidi misti, contenente nel lungo termine attinidi minori che lo rendono inutilizzabile per la produzione di plutonio weapon-grade. Inoltre, le proprietà neutroniche del piombo permettono di progettare noccioli a lunga vita che sono inutilizzabili per la produzione di plutonio.

La tecnologia LFR è stata sviluppata in Europa nel quadro dei progetti europei FP6 ELSY (European Lead cooled System) ed il successivo progetto FP 7 LEADER (Lead-cooled European Advanced DEMonstration Reactor) dove si è definita la configurazione di un reattore veloce autofertilizzante commerciale da 600 MWe raffreddato a piombo e realizzato il disegno concettuale di un dimostratore LFR di taglia ridotta chiamato ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator) da 120 MWe. Il design del dimostratore

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 148	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 4	di 8
--	--	------------------	----------------------	------------------	----------------

ALFRED è stato il risultato di uno sforzo comune europeo guidato dal sistema Italia con Ansaldo Nucleare alla guida del lavoro di progettazione e l'ENEA del lavoro di sviluppo della tecnologia, in collaborazione con il sistema universitario italiano.

Uno dei problemi più importanti per la realizzazione dei reattori raffreddati a piombo è legato alla scelta dei materiali, poiché il piombo fuso è un ambiente estremamente corrosivo. La corrosione da piombo liquido coinvolge due processi di degrado: il primo è legato a processi di ossidazione non passivante che porta alla crescita di spessi strati di ossido poco compatti e meccanicamente instabili; la seconda e più importante è legata alla dissoluzione degli elementi costitutivi acciaio. L'elemento che ha più elevata solubilità è nickel ma anche cromo e ferro mostrano una certa solubilità in piombo liquido. La dissoluzione porta inizialmente alla ferritizzazione superficiale delle lega austenitica e, successivamente, alla penetrazione in profondità del metallo liquido. Il processo di dissoluzione, se non controllato, procede alla velocità di 200 micron/anno ad una temperatura di 550 ° C per un tipico acciaio austenitico in piombo liquido.

Varie contromisure possono essere adottate per controllare i fenomeni di corrosione, seguendo l'approccio attualmente adottato in altri settori tecnologici e basato su selezione dei materiali, design (progettazione che preveda operazioni a bassa temperatura per rallentare la cinetica, diminuire la velocità dei fluidi per ridurre la corrosione/erosione..), controllo ambientale (operazioni a bassa temperatura, controllo attivo della concentrazione di ossigeno, impiego di inibitori, ...).

Il lavoro di ricerca svolto nel corso dell'ultimo decennio ha dimostrato che tutti gli acciai convenzionali per applicazioni nucleari soffrono in varia misura dei problemi di corrosione in piombo liquido e comunque in modo tale che il loro impiego è proibitivo.

Il controllo ambientale, ossia il funzionamento in condizione di contenuto di ossigeno controllato e bassa temperatura per rallentare le cinetiche di ossidazione (Active Oxygen Control, AOC), ha dimostrato di essere un modo efficace nella gestione di problemi di corrosione, promuovendo la formazione di una pellicola di ossido autorigenerante. Mantenendo una concentrazione sufficiente a formare uno strato di ossido sottile ed al di sotto della concentrazione in cui comincia a precipitare l'ossido di piombo, gli ossidi superficiali di ferro e cromo che si vengono a formare limitano a valori trascurabili i tassi di dissoluzione. Sul controllo dell'ossigeno disciolto si basa la tecnica per la protezione dalla corrosione per gli acciai inossidabili adottata nei reattori raffreddati con leghe di piombo liquide ad uso militare sviluppati in Unione Sovietica.

La tecnica AOC risulta di difficile applicazione a reattori di potenza per usi civili poiché comporta il non facile problema di monitorare il contenuto di ossigeno e mantenerlo a valori dati su volumi molto grandi, con geometrie estremamente complicate e stratificazione termica. Inoltre la tecnica non è efficace per temperature superiori ai 550 °C, poiché a queste temperature c'è un cambiamento nei meccanismi di ossidazione. Sperimentalmente si osservano gravi attacchi di corrosione negli acciai austenitici mentre negli acciai martensitici si osserva un aumento dello spessore dello strato di ossido che diviene meccanicamente instabile e tende a staccarsi lasciando esposto il materiale al refrigerante ed alla dissoluzione. Le spesse scaglie di ossido rappresentano inoltre una barriera al trasferimento di calore.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 148	0	L	5	8

E' quindi necessario adottare delle misure aggiuntive per proteggere quelle parti del reattore come le camicie del combustibile, scatole esagonali e griglie di supporto che potrebbero raggiungere temperature fino a 650°C.

In particolare le camicie del combustibile rappresentano una barriera contro il rilascio dei prodotti di fissione ed è evidente che la qualifica del materiale per la loro realizzazione risulti essere uno dei problemi più importanti per lo sviluppo di questa tecnologia.

Una soluzione al problema è sicuramente quella di sviluppare acciai autopassivanti in HLM che formino cioè uno strato passivo sulla superficie esposta al metallo liquido per reazione con l'ossigeno ivi disciolto. E' stato dimostrato che l'aggiunta di silicio o/e alluminio negli acciai promuove la formazione di un sottile strato ossidato, stabile e passivo anche ad elevate temperature. In questa direzione in Russia è stato sviluppato un acciaio martensitico (EP823) contenente silicio ed acciai contenenti alluminio sono in fase di sviluppo in Europa e negli stati uniti d'America. Bisogna comunque dire che questi materiali sono presentemente in studio e poco o niente si sa circa il loro comportamento sotto irraggiamento.

La qualifica sotto irraggiamento è una questione essenziale e legata al degrado associato al bombardamento neutronico. I neutroni incidenti sul reticolo cristallino del materiale causano l'accumulo di difetti strutturali e di cavità con variazione delle proprietà meccaniche e di volume. L'aumento di volume e diminuzione della densità possono essere anche molto sensibili e tali da comportare severe distorsioni strutturali.

Nel breve periodo nell'ottica della realizzazione di un dimostratore, piuttosto che la qualifica di nuove leghe auto passivanti in HLM e resistenti all'irraggiamento la soluzione più praticabile è l'impiego di materiali strutturali già qualificati e codificati dalla normativa internazionale e demandare la protezione dalla corrosione a rivestimenti protettivi. Per questo il disegno attuale del reattore ALFRED prevede l'impiego, per le camicie del combustibile e dei componenti del nocciolo, dell'acciaio di tipo AIM1 15Ni-15Cr stabilizzato al titanio frutto di una attività di R&D durata diverse decine di anni e qualificato per applicazioni nel nocciolo di reattori veloci al sodio.

Ovviamente la scelta impone la caratterizzazione e qualifica del sistema substrato + rivestimento per l'impiego previsto.

In questa direzione la Divisione Ingegneria Sperimentale del Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare (FSN-ING) è impegnata in collaborazione con università e centri di ricerca italiani e stranieri per la progettazione e realizzazione di rivestimenti utili alla protezione dalla corrosione da piombo liquido e la loro successiva caratterizzazione con prove meccaniche, prove di corrosione e prove di irraggiamento con ioni pesanti volte a verificare le prestazioni nelle condizioni operative.

Le attività suddette richiedono l'approvvigionamento di piastre di acciaio di tipo AIM1 15Ni-15Cr stabilizzato al titanio prodotto in accordo con la seguente specifica tecnica.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 148	0	L	6	8

2 Scopo

Vengono definiti i requisiti dei materiali, i processi di lavorazione ed i controlli relativi alla produzione di lingotti di acciaio austenitico stabilizzato al titanio per circa 250 Kg di peso ed alla produzione da questa di piastre incrudite al 20-25%

3 Composizione chimica

% in peso

$0,08 \leq C \leq 0,10$

$14,0 \leq Cr \leq 16,0$

Ottimale 14,5

$14,0 \leq Ni \leq 16,0$

Ottimale 15,5

$1,0 \leq Mn \leq 2,0$

$1,3 \leq Mo \leq 1,7$

$0,30 \leq Ti \leq 0,5$

Ottimale $(Ti/(4 C)) \geq 1,0$

$Nb + Ta \leq 0,03$

$0,70 \leq Si \leq 0,9$

Ottimale 0,85

$0,003 \leq B \leq 0,007$

Ottimale $\leq 0,004$

$0,03 \leq P \leq 0,05$

Ottimale 0,045

$N < 0,015$

Più basso possibile

$S \leq 0,01$

Più basso possibile

$Al < 0,015$

Più basso possibile

$Zr \leq 0,03$

Più basso possibile

$W \leq 0,03$

Più basso possibile

$V \leq 0,03$

Più basso possibile

$Cu < 0,03$

Più basso possibile

$Co \leq 0,03$

Più basso possibile

$Ca \leq 0,02$

Più basso possibile

$Sb \leq 0,005$

Più basso possibile

$Sn \leq 0,005$

Più basso possibile

$O \leq 0,01$

Più basso possibile

Fe il resto

4 Procedura di produzione

Fusione in forno ad induzione sotto vuoto seguita da rifusione in forno ad arco sotto vuoto (VIM+VAR).

5 Caratteristiche dei lingotti

La composizione chimica percentuale in peso dei lingotti dovrà essere in accordo con quanto specificato: le analisi chimiche saranno condotte per SS-OES e per combustione in gas inerte per gli elementi C, S, N e dovranno essere effettuate per ciascun lingotto.

Il contenuto di inclusioni sarà determinato secondo la norma ASTM E45 metodo D su campioni prelevati su ciascun lingotto. La media pesata dei valori indicativi di ogni campo

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 148	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 7	di 8
--	--	------------------	----------------------	------------------	----------------

non dovrà eccedere 1 per ogni campione e per ogni tipo di inclusione. Il valore indicativo di ogni campo in nessun caso dovrà eccedere 2 per ogni tipo di inclusione e la somma dei valori indicativi delle varie inclusioni non dovrà essere maggiore di 3. Il controllo dei carbonitruri di Ti verterà sugli allineamenti e la rivelazione del loro contenuto verrà effettuato utilizzando i plate di riferimento per le inclusioni di tipo allumina, ASTM E45 metodo D; il contenuto di carbonitruri non rientra nelle limitazioni richieste riguardo le altre tipologie di inclusioni ma dovrà essere comunicato All'ENEA.

La microstruttura dei lingotti dovrà essere 100% austenitica.

Le analisi e le prove per la verifica del rispetto della specifica saranno a carico del fornitore.

6 Produzione di piastre incrudite al 20-25%

1. Trattamento termico di omogeneizzazione in fornace a $T > 1230^{\circ}\text{C}$ per un tempo da concordare con ENEA (microstruttura 100% austenitica)
2. Laminazione a caldo @ $T > 1000^{\circ}\text{C}$ per la riduzione dello spessore
3. Laminazione a freddo (riduzione di spessore determinato dal produttore per controllare la granulometria)
4. Ricottura di solubilizzazione a $1100 \leq T \leq 1200^{\circ}\text{C}$ per un tempo ottimale, considerando i precedenti passaggi 2 e 3, per ottenere una dimensione del grano austenitico $6 \leq G \leq 9$ ASTM (ottimale 7 ASTM).
5. Tempra. La velocità di raffreddamento dal precedente punto 4, dovrà essere tale da passare dalla temperatura di ricottura a 500°C in meno di 10 minuti primi
6. Laminazione a freddo per ottenere piastra incrudite al 20-25% dello spessore finale di 15 mm

Le condizioni di temperatura/tempo dei trattamenti dovranno essere ottimizzate al fine di ottenere la microstruttura richiesta in termini di dimensione del grano e assenza di precipitazione di carburi di cromo e di fasi intermetalliche. Per ottenere le condizioni ottimali verranno eseguiti diversi trattamenti termici seguiti da analisi metallografiche per MO e EM e misure di durezza. I dettagli delle lavorazioni sopra dovranno essere approvati dall'ENEA.

7 Caratteristiche delle piastre dopo la laminazione a freddo

La microstruttura delle piastre dovrà essere 100% austenitica.

Grain size nel range $6 \leq G \leq 9$ in accordo con la norma AFNOR NF/A 104-02

$620 \leq R_{p0,002} \leq 840$ MPa in accordo con la norma AFNOR NF/A/ 49-851

$R_m \geq 760$ MPa in accordo con la norma AFNOR NF/A/ 49-851

$A_{tot} \geq 18\%$ in accordo con la norma AFNOR NF/A/ 49-851

Le analisi e le prove di trazione sulle piastre a temperatura ambiente per la verifica del rispetto della specifica saranno a carico del fornitore

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 148	0	L	8	8

8 Imballaggio e spedizione

Le piastre saranno poste individualmente in sacchetti di polietilene chiusi e spedite presso ENEA C.R. Brasimone Località Brasimone, 40032 Camugnano (Bologna).

9 Certificazioni

La fornitura sarà accompagnata da un rapporto di produzione contenente i dettagli del processo di produzione ed i risultati delle analisi effettuate, metallografie, durezza e prove di trazione.

10 Accettazione

L'accettazione della fornitura avverrà entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale sulla base della revisione della documentazione ed analisi di laboratorio. In caso di esito negativo dell'accettazione della fornitura sarà a completo carico del Fornitore il rimpiazzo del materiale difettoso.

11 Durata della Fornitura, Penali, Pagamenti

La presente fornitura dovrà essere ultimata entro tre mesi dalla conferma d'ordine.

Per ogni giorno solare di ritardo nella consegna della fornitura sarà applicata la penale dello 0,3% (tre per mille) dell'importo totale.

L'importo globale della penale applicabile non potrà superare, comunque, il 10% dell'importo totale della fornitura.

Qualora l'ammontare complessivo della penale ecceda il 10% del valore del contratto, il responsabile ENEA può risolvere il contratto e provvedere all'esecuzione in danno.

I pagamenti saranno effettuati, a fronte di presentazione di regolare fattura posticipata, al 100% dell'ammontare totale ad esito positivo della accettazione in sito.