



Brevetto d'invenzione rilasciato per la Svizzera ed il Liechtenstein
Trattato sui brevetti, del 22 dicembre 1978, fra la Svizzera ed il Liechtenstein

⑫ FASCICOLO DEL BREVETTO A5

⑪

646 811

⑳ Numero della domanda: 7472/81

⑦③ Titolare/Titolari:
Ansaldo Impianti S.p.A., Genova (IT)

㉑ Data di deposito: 20.11.1981

③① Priorità: 04.12.1980 IT 12744/80

⑦② Inventore/Inventori:
Rocca, Ugo, Dr.-Ing., Pieve Ligure (IT)

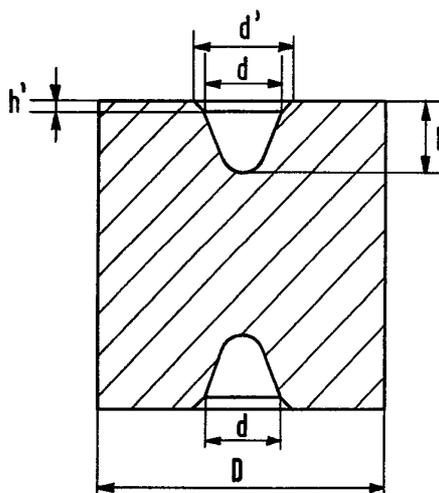
㉒ Brevetto rilasciato il: 14.12.1984

④⑤ Fascicolo del
brevetto pubblicato il: 14.12.1984

⑦④ Mandatario:
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

⑤④ Pastiglia di combustibile nucleare che presenta a caldo deformazioni ridotte.

⑤⑦ La pastiglia di combustibile nucleare, di forma sostanzialmente cilindrica, presenta a caldo deformazioni ridotte, con minore pericolo, quindi, di interazioni meccaniche con la guaina. Essa è del tipo che prevede in corrispondenza delle sue due basi, in posizione assiale, una coppia di incavi sostanzialmente conici, con il vertice rivolto verso il centro della pastiglia. Il diametro maggiore (d) di detti incavi, sostanzialmente di forma conica, è minore od uguale alla metà del diametro (D) della pastiglia di combustibile; inoltre il rapporto tra la profondità (h) di ciascun incavo ed il diametro maggiore (d) dello stesso è minore od uguale ad uno.



RIVENDICAZIONI

1. Pastiglia di combustibile nucleare, di forma sostanzialmente cilindrica che presenta a caldo deformazioni ridotte, con minor pericolo, quindi, di interazioni meccaniche con la guaina, del tipo che prevede in corrispondenza delle due basi, della pastiglia cilindrica, in posizione assiale, una coppia di incavi sostanzialmente conici, con il vertice rivolto verso il centro della pastiglia, caratterizzata dal fatto che il diametro maggiore di detti incavi, sostanzialmente di forma conica, è minore od uguale alla metà del diametro della pastiglia di combustibile; in cui inoltre il rapporto tra la profondità di ciascun incavo ed il diametro maggiore dello stesso è minore od uguale ad uno.

2. Pastiglia di combustibile nucleare, secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che detti incavi hanno forma conica con il vertice arrotondato da una calotta sferica.

3. Pastiglia di combustibile nucleare, secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti incavi hanno sezione diametrale sostanzialmente a forma di U; le braccia di detta U essendo preferibilmente allargate verso l'esterno, cioè verso le basi della pastiglia.

4. Pastiglia di combustibile nucleare, secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che le due basi sono dotate di uno smusso di lato compreso tra un decimo ed un cinquantesimo del diametro della pastiglia.

5. Pastiglia di combustibile nucleare, secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che ciascuna delle due basi della pastiglia cilindrica, oltre all'incavo citato, prevede una cavità sostanzialmente a forma di calotta sferica in cui il rapporto tra la freccia della calotta e la corda della stessa è minore di un quinto; in cui inoltre il rapporto tra la corda della calotta ed il diametro della pastiglia è compreso tra 0,5 e 0,9.

6. Pastiglia di combustibile nucleare, secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che, almeno una delle basi della pastiglia cilindrica, oltre all'incavo corrispondente citato, prevede una cavità sostanzialmente a forma di calotta sferica in cui il rapporto tra la freccia della calotta e la corda della stessa è minore di un quinto; in cui inoltre il rapporto tra la corda della calotta ed il diametro della pastiglia è compreso tra 0,5 e 0,9.

7. Pastiglia di combustibile nucleare, secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che almeno una delle due basi, oltre al corrispondente incavo citato, prevede una cavità a fondo sostanzialmente piana la cui parete laterale ha forma sostanzialmente troncoconica; in cui il rapporto tra la profondità ed il diametro di detta cavità è minore di un quinto, mentre il rapporto tra il diametro di detta cavità ed il diametro della pastiglia è compreso tra 0,5 e 0,9.

8. Pastiglia di combustibile nucleare, secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che ciascuno degli incavi, sostanzialmente conici, delle due basi della pastiglia è dotato in corrispondenza della sua base maggiore di uno smusso il cui lato è compreso tra un mezzo decimo del diametro maggiore dell'incavo stesso.

L'oggetto della presente invenzione è costituito da una pastiglia di combustibile nucleare che presenta a caldo deformazioni ridotte.

Usualmente le pastiglie sono costituite da cilindretti di UO_2 (ossido di uranio) sinterizzato, di dimensioni dell'ordine del centimetro, e vengono contenute in tubi di Zincoloy (o acciaio) chiusi alle estremità. Più tubi assemblati tramite opportune piastre di estremità, distanziatori radiali, ele-

menti elastici ecc. costituiscono un elemento di combustibile di reattori nucleari.

Durante il funzionamento della pastiglia di combustibile nucleare, questa si deforma per effetto delle differenti temperature di regime che si stabiliscono nei vari punti della pastiglia. Tale deformazione termica può portare alla rottura della pastiglia, né fino ad oggi erano state trovate soluzioni semplici ed efficaci per la risoluzione di tale problema.

10 La presente invenzione, definita dalla rivendicazione 1, costituisce un perfezionamento delle forme di realizzazione attualmente note.

— La fig. 1 mostra in sezione verticale schematica una guaina per il contenimento di una pila di pastiglia di combustibile nucleare;

— la fig. 2 mostra in sezione una generica pastiglia di combustibile di forma sostanzialmente cilindrica;

— la fig. 3 illustra le curve F e T già illustrate nell'introduzione;

20 — la fig. 4 illustra schematicamente la deformazione termica della pastiglia di combustibile;

— le fig. 5 a 10 si riferiscono a forme note di realizzazione di una pastiglia di combustibile e sono riportate nei disegni al solo scopo di illustrare più chiaramente i vantaggi ottenibili con il perfezionamento rivendicato nella presente invenzione;

— la fig. 11 mostra in sezione lungo un piano assiale passante per le basi una pastiglia di combustibile secondo l'invenzione.

30 Le pastiglie di UO_2 (vedi fig. 1) sono disposte in senso assiale nel tubo (guaina) con un piccolo gioco diametrale che ne permetta il caricamento e la dilatazione in senso radiale. Un opportuno gioco assiale, con molla di compressione per contenere gli spostamenti durante il trasporto ed il funzionamento, assicura l'espansione a caldo in senso assiale.

35 Durante il funzionamento in reattore, nella pastiglia (fig. 2) si produce potenza per effetto del flusso neutronico (vedi curva F in fig. 3) e si genera un flusso di calore verso il fluido refrigerante (acqua) che scorre all'esterno della guaina.

Per effetto della generazione di potenza e del raffreddamento, si stabilisce una distribuzione di temperatura nella pastiglia, indicativamente rappresentata in senso radiale della curva T in fig. 3.

La espansione termica, in senso assiale e radiale, porta la pastiglia a deformarsi come indicato in fig. 4. Ciò comporta una interazione più o meno forte con la guaina, soprattutto in corrispondenza alle estremità delle pastiglie. Per ridurre la deformazione a caldo, e quindi l'interazione, si ricorre usualmente a «cianfrinatura» dei bordi, vedi fig. 5, o a cavità di espansione sulle due facce, figg. 6 e 7, o su una sola fig. 8. I risultati sperimentali non sono però completamente soddisfacenti.

La soluzione indicata in fig. 9, un foro centrale nella pastiglia ha fornito sperimentalmente risultati più promettenti. Non è però usata commercialmente sia perché (a) richiede arricchimenti in fissili (Uranio 235 p.e.) leggermente più alti per compensare l'alta percentuale di vuoti che comunque comporta, sia perché (b) il «canale» che viene così formato lungo la barra di combustibile può favorire gli spostamenti di massa in seguito a frammentazione, crachizzazione ecc. dell' UO_2 , alterando la configurazione del fissile di progetto.

È bene comunque rimarcare un pregio della soluzione di fig. 9, consistente nella eliminazione di una parte della pastiglia che risulta poco interessante dal punto di vista

neutronico e che contribuisce sensibilmente alla espansione termica, vedi fig. 3 curve F e T.

Il mantenimento di questo pregio, nonché la riduzione dell'inconveniente (a) e l'eliminazione dell'inconveniente (b) sopra menzionati può essere ottenuto ricorrendo alla forma di pastiglia in fig. 10. Confrontando quest'ultima con la fig. 9 di partenza, si può notare come per facilitare la fabbricazione della pastiglia parzialmente forata di fig. 10, convenga ridurre la sezione dei due fori verso il centro della pastiglia, ottenendo quindi in sezione due «U», di diametro «d» e profondità «h» opportuni.

Deve cioè risultare almeno $h/d > 1$ per poter considerare la fig. 10 caso «ottimizzato» della forma di fig. 9. La differenza sostanziale tra le forme indicata nelle figg. 6 e 7 e quella di fig. 10 consiste nell'elevato valore del rapporto h/d in quest'ultima.

La soluzione in fig. 10 può essere anche utilizzata in aggiunta a quelle indicate nelle figg. 5, 6 e 7 (ed eventualmente 8 se si considera un solo foro ad U nella pastiglia di fig. 10).

Nell'introduzione della presente descrizione sono stati indicati i limiti delle varie soluzioni note rappresentate schematicamente nelle figg. 5 a 10.

La forma geometrica indicata in fig. 11, oggetto del presente brevetto, si differenzia da tutte quelle finora prese in considerazione per i particolari valori dei rapporti geometrici connessi:

$$h/d < 1 \quad d/D < 1/2$$

Si ritiene che con queste proporzioni si ottimizzi la soluzione di eliminare del materiale poco sfruttato neutronicamente si elimina anche del materiale non interessato alla deforma-

zioni a caldo indicate in fig. 4. Può essere utile un confronto con le altre soluzioni:

Nelle soluzioni delle figg. 5, 6 e 7 si elimina del materiale verso la periferia delle pastiglie, utile neutronicamente e non ad alta temperatura; nel caso di fig. 10 probabilmente si elimina anche del materiale non interessato alla deformazione ai bordi della pastiglia e si va incontro a problemi di fabbricazione.

Inoltre, in fig. 9 come in fig. 10, il volume asportato nell'ipotesi che «h» sia $\simeq \langle L \rangle / 2$ può risultare elevato anche per piccoli valori di «d».

Per ridurre l'espansione in senso assiale, può essere necessario per le forme in fig. 9 e fig. 10 ricorrere anche alle soluzioni di fig. 6 e fig. 7, in aggiunta.

Nel caso di fig. 11 invece, il diametro «d» è meno critico, a parità di volume asportato, non essendo elevati i valori «h» associati a questa configurazione. Si possono ancora adottare, nel caso di fig. 11, aggiuntivamente, le soluzioni delle figg. 5, 6 e 7.

Nel caso di fig. 11 però può essere sufficiente un semplice «raccordo» di ingombri «d» e «h» per ottenere il benefico effetto di ridurre sensibilmente l'espansione assiale della pastiglia.

I volumi asportati associati alla soluzione oggetto del presente brevetto risultano in genere piccoli (1 - 3% della pastiglia), dipendendo dal rapporto L/D oltre che da h/d . È bene notare che aumentando «L», diminuisce percentualmente il valore del volume asportato, come avviene nei casi delle figg. 5, 6 e 7 ed a differenza di quanto avviene nel caso di fig. 9 o può avvenire nel caso di fig. 10 se «h» risulta una parte significativa di «L».

Nel caso presente le dimensioni «h» e «d» sono invece in relazione solo con «D», assumendo per «L» valori usualmente realizzati ($L/D \simeq 1$, o > 1).

Fig.1

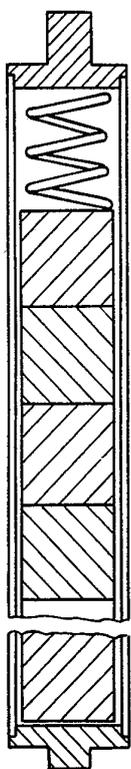


Fig.2

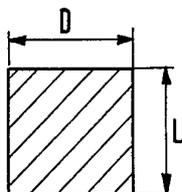


Fig.3

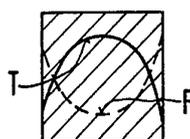


Fig.4

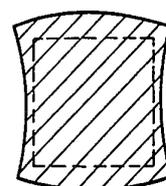


Fig.5

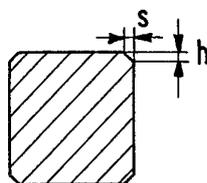


Fig.6

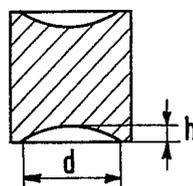


Fig.7

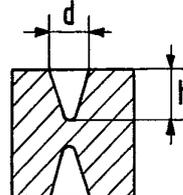
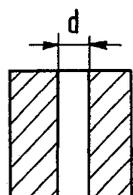
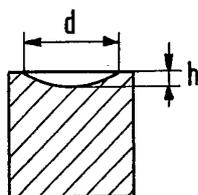
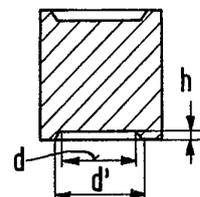


Fig.8

Fig.9

Fig.10

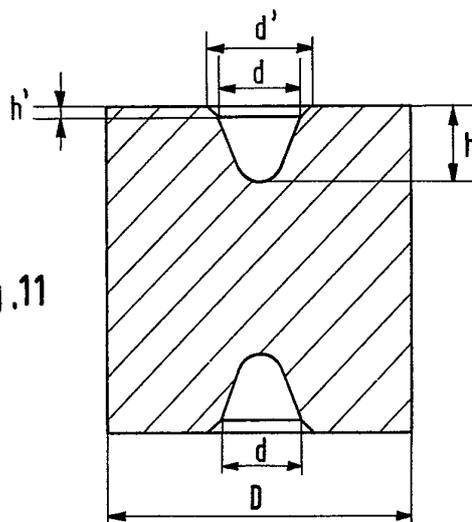


Fig.11