

Éléments d'information sur un écart de fabrication déclaré par EDF
concernant des équipements de réacteurs nucléaires

Framatome a identifié un écart concernant la gamme de fabrication d'équipements de réacteurs nucléaires.

Cet écart concerne le traitement thermique de détensionnement appliqué aux joints soudés réalisés pour l'assemblage des différents composants de ces équipements. Le traitement thermique a été réalisé par application de moufles chauffants. Framatome a récemment mis en évidence que ce procédé ne permet pas de maintenir une température suffisamment homogène sur toute la longueur du joint soudé. Ainsi, la température maximale prescrite a été dépassée sur certaines portions circulaires du joint soudé, tandis que, sur d'autres portions, la température minimale n'a pas été atteinte.

Les propriétés mécaniques des matériaux étant affectées par cet écart, il convient de réexaminer les études de la démonstration de sûreté des équipements concernés.

EDF précise à ce stade que, pour le parc des réacteurs en service, cet écart affecte des générateurs de vapeur.

Rôle du traitement thermique de détensionnement dans la gamme de fabrication

L'enveloppe des générateurs de vapeur est essentiellement constituée, du bas vers le haut, d'un fond hémisphérique, d'une plaque tubulaire, de deux ou trois viroles cylindriques, d'une virole tronconique, de deux viroles cylindriques et d'un dôme elliptique (cf. schéma en annexe). Ces composants sont assemblés par soudage.

Lors de la réalisation d'un joint soudé, le métal en fusion qui est apporté pour constituer le joint entre deux pièces est à une température bien supérieure à celle du métal des pièces à assembler. Lors du refroidissement, le métal d'apport et le métal des pièces se rétractent, mais les différences de température induites par le soudage font que le retrait n'est pas uniforme. De ce fait, après le refroidissement, il subsiste des contraintes mécaniques dans les joints soudés, dites contraintes résiduelles. En outre, les conditions thermiques du soudage occasionnent des modifications des matériaux et la création de structures métallurgiques très dures et fragiles localement.

La gamme de fabrication des équipements prévoit un traitement thermique de détensionnement après le soudage. Ce traitement consiste à amener le joint soudé à une température permettant l'adoucissement des composés métallurgiques les plus durs de la zone affectée thermiquement et une certaine relaxation des contraintes.

Pour l'acier des viroles de générateur de vapeur, les règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP (RCC-M, édité par l'AFCEN) que suit Framatome, fixent la plage de réalisation de ce traitement thermique entre 595 °C et 620 °C.

Procédé de traitement thermique de détensionnement par application de moufles chauffants et caractérisation de l'écart

Le chauffage de la zone du joint soudé nécessaire à la réalisation du traitement thermique de détensionnement peut être réalisé par différents moyens, comme le chauffage par induction, un four annulaire... Ces différents moyens doivent permettre de maîtriser la température appliquée ainsi que les vitesses de chauffage et de refroidissement, afin de garantir la qualité du traitement.

Framatome met en œuvre depuis 2008 un procédé de chauffage par application de moufles chauffants. Ces moufles sont constitués de résistances chauffantes et d'une couverture isolante (cf. schéma en annexe). Il faut par exemple huit à neuf moufles pour couvrir toute la circonférence extérieure du joint soudé d'une virole de générateur de vapeur, et autant pour couvrir la circonférence intérieure. Quatre rangs de moufles sont disposés côte-à-côte afin de recouvrir toute la zone à traiter, à savoir le joint soudé ainsi qu'une certaine distance de part et d'autre.

Des simulations réalisées récemment par Framatome ont mis en évidence des hétérogénéités de la température appliquée par ce procédé conduisant par endroit à ne pas respecter la plage de température prescrite par la gamme de fabrication. Ces études ont montré que la température la plus basse peut être significativement inférieure à la température minimale prescrite, et la température la plus élevée significativement supérieure à la température maximale prescrite.

Conséquences potentielles

Les anomalies de température précitées ont des conséquences sur les propriétés des matériaux du joint soudé.

Une température de traitement insuffisante a pour conséquence une moindre relaxation des contraintes résiduelles. Une température de traitement excessive a pour conséquence une diminution de la limite d'élasticité, de la résistance à la traction et de la ténacité du matériau. En conséquence, les propriétés mécaniques considérées à la conception dans les analyses du comportement mécanique de l'enveloppe des générateurs de vapeur concernés sont remises en cause du fait de l'écart constaté, qu'il s'agisse des zones où la température est insuffisante ou de celles où elle est excessive.

Les analyses de comportement mécanique réalisées à la conception servent à démontrer la résistance des équipements aux sollicitations rencontrées dans les différentes situations d'exploitation des réacteurs, normales comme accidentelles. En particulier, il doit être vérifié que le dimensionnement permet d'exclure des dommages tels que la déformation excessive, l'instabilité plastique ou la rupture brutale. Cette vérification requiert de déterminer les contraintes subies par les matériaux dans les différentes situations et de les comparer à des critères mécaniques.

Dans le cas présent, l'analyse du risque de rupture brutale est à réexaminer du fait de la présence de contraintes résiduelles et de la diminution de la ténacité du matériau. L'analyse des dommages de déformation excessive et d'instabilité plastique est également à réexaminer du fait d'une limite d'élasticité et d'une résistance à la traction moindres.

Action de l'IRSN

EDF indique mener actuellement avec Framatome des analyses approfondies pour recenser les matériels et les réacteurs concernés et en évaluer l'impact pour la sûreté. Elle a informé l'ASN de ses premières analyses le 9 septembre 2019.

En appui de l'ASN, l'IRSN examinera les éléments techniques correspondants d'EDF pour l'ensemble des réacteurs concernés.

Traitement thermique de détensionnement de soudures de générateurs de vapeur

IRSN
TRAITEMENT THERMIQUE DE DÉTENSIONNEMENT DE SOUDURES DE GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

IRSN
INSTITUT
 DE RADIOPROTECTION
 ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Pour certaines soudures, Framatome met en œuvre depuis 2008 un procédé de chauffage de la zone du joint soudé, nécessaire à la réalisation du traitement thermique de détensionnement, par application de moufles chauffants.

Des études réalisées récemment par Framatome ont mis en évidence des hétérogénéités de la température appliquée par ce procédé conduisant par endroit à ne pas respecter la plage de température prescrite par la gamme de fabrication.

The diagram illustrates the thermal treatment of a steam generator. On the left, a cutaway view shows the 'GÉNÉRATEURS DE VAPEUR' (steam generators) inside the 'BÂTIMENT RÉACTEUR' (reactor building). On the right, a detailed view of a 'GÉNÉRATEUR DE VAPEUR' shows various components: 'DÔME ELLIPTIQUE', 'VIROLE SUPÉRIEURE', 'VIROLE CONIQUE', 'VIROLE MÉDIANE', 'VIROLE BASSE', 'PLAQUE TUBULAIRE', and 'FOND'. A 'SOUDURE' (weld) is highlighted in orange. Heating blankets ('MOUFLES CHAUFFANTES') are applied to the 'SURFACE INTERNE' and 'SURFACE EXTERNE'. A 'COUVERTURE' (cover) and 'RÉSISTANCE CHAUFFANTE' (heating resistance) are also shown.

PLUS D'INFORMATIONS SUR
WWW.IRSN.FR/CHAUFFAGE-SOUDURES