HAL open science

Rupture dynamique d'anneau métallique au moyen d'impact plan

Fanny Gant, Patrice Longere, Skander El Maï, Jean Luc Zinszner, Seisson Gabriel

To cite this version:

Fanny Gant, Patrice Longere, Skander El Maï, Jean Luc Zinszner, Seisson Gabriel. Rupture dynamique d'anneau métallique au moyen d'impact plan. CFM 2022 - 25e Congrès Français de Mécanique, Aug 2022, Nantes, France. hal-04280132

HAL Id: hal-04280132

https://hal.science/hal-04280132v1

Submitted on 13 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Rupture dynamique d'anneau métallique au moyen d'impact plan

F. GANT[a,b], G. SEISSON[a], P. LONGERE[b], S. EL MAÏ[a], J-L. ZINSZNER[a]

a. CEA/DAM, Gramat, France.
E-mail : fanny.gant@cea.fr, gabriel.seisson@cea.fr, skander.elmai@cea.fr, jean-luc.zinszner@cea.fr
b. Institut Clément Ader, Université de Toulouse, ISAE-SUPAERO, INSA-T, UPS, IMT Mines Albi, CNRS, Toulouse, France.
E-mail : patrice.longere@isae-supaero.fr

Résumé :

La compréhension de la fragmentation d'enveloppes métalliques par expansion radiale dynamique est un enjeu majeur pour l'industrie et la défense. Des essais d'expansion radiale à grande vitesse ont ainsi été réalisés au moyen du dispositif expérimental original PIDRET (Plate-impact-driven ring expansion test) sur des anneaux en cuivre afin d'acquérir des données in-situ et post-mortem. Ces essais s'ajoutent à une précédente campagne expérimentale menée sur un acier et un alliage d'aluminium. Les résultats complémentaires permettent d'alimenter une base de données nécessaire à la compréhension du phénomène de fragmentation.

Abstract:

Understanding the fragmentation of metal envelopes by dynamic radial expansion is a major challenge for industry and defence. High-speed radial expansion tests were thus carried out using PIDRET (Plate-impact-driven ring expansion test) novel experimental set-up on copper rings in order to obtain in-situ and post-mortem data. These experiments add to a previous experimental campaign on mild steel and aluminium alloy rings. Supplementary results allow feeding a database necessary to the understanding of fragmentation phenomenon.

Mots clefs : Fragmentation, striction, expérimentation, impact.

1 Introduction

La compréhension de la fragmentation d'enveloppes métalliques par expansion radiale dynamique est un enjeu majeur pour l'industrie et la défense. Les fragments générés sont projetés à des vitesses très élevées et à des distances potentiellement importantes constituant soit une zone de danger (dans le cadre de la sécurité pyrotechnique) soit une zone de létalité (dans le cadre militaire). Une connaissance statistique de la population des éclats (masse, nombre, vitesse, angle d'éjection) est nécessaire afin de maîtriser au mieux ces zones. Dans la littérature, les études expérimentales, théoriques et numériques s'intéressent généralement à des configurations simplifiées en s'appuyant sur l'expansion d'une demi-

sphère, d'un cône, d'un cylindre ou d'un anneau sollicité par explosif, force électromagnétique ou chargement mécanique, voir p.ex. [1-5].
A la suite de ces études, le nouveau concept expérimental d'expansion radiale dynamique d'anneau métallique PIDRET (Plate-impact-driven ring expansion test) a été développé, voir [6]. Il permet de déformer un anneau uniformément à une vitesse de déformation tangentielle de l'ordre de 10^4 s^{-1} jusqu'à l'apparition de localisations (strictions multiples) puis de ruptures. En se basant sur différents diagnostics mis en place, tels que la mesure de la vitesse radiale de points situés sur la face extérieure de l'anneau par interférométrie Doppler fibrée et une visualisation de son expansion par cinématographie ultra-rapide, ce dispositif s'avère être un moyen fiable et répétable pour étudier les mécanismes physiques régissant la multi-fragmentation dynamique.
Cette étude présente des résultats d'expansion radiale dynamique d'anneaux en acier doux, en alliage d'aluminium ou en cuivre.
Une brève description du principe du dispositif PIDRET est faite dans le chapitre 2. Les résultats expérimentaux sont présentés et commentés dans le chapitre 3. Des conclusions sont tirées dans le chapitre 4.

2 Principe de l'expansion radiale dynamique d'anneaux au moyen de PIDRET

Le dispositif expérimental PIDRET utilisé dans ces travaux, schématisé sur la figure 1, nécessite un lanceur à gaz permettant de lancer un projectile à une vitesse de 150 $m.s^{-1}$. Ce projectile impacte un disque en PEHD qui est compressé contre une enclume en acier. Le PEHD flue alors de manière radiale appliquant une pression sur la surface interne de l'anneau. L'anneau subit une expansion radiale jusqu'à sa fragmentation. Les fragments sont collectés dans une couronne en mousse de polymère. L'anneau a un rayon moyen de 40 mm et une section carrée de 1x1 mm². Des diagnostics, présentés sur la figure 2, permettent de mesurer la vitesse radiale en quatre points de l'anneau et d'observer son expansion et sa fragmentation par le biais de deux visualisations par deux caméras ultra-rapides. Le lecteur peut consulter [6] pour plus de détails sur le positionnement, le déclenchement et les caractéristiques de ces diagnostics.

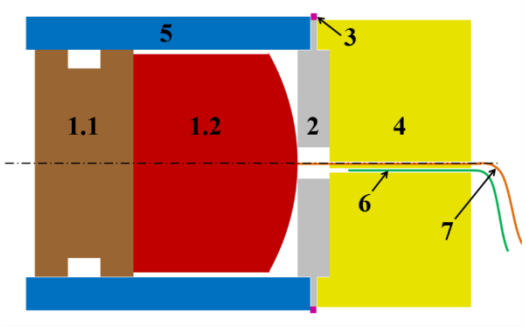

Fig. 1. Schéma de principe du dispositif PIDRET [6]. 1.1 : sabot. 1.2 : impacteur. 2 : disque PEHD. 3 : anneau métallique. 4 : enclume. 5 : tube lanceur. 6 : sonde IDF. 7 : aiguille à contact.

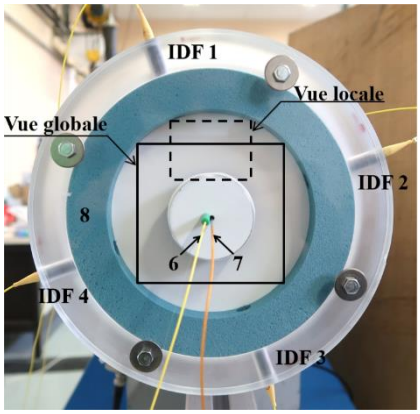

Fig. 2. Diagnostics mis en place sur le dispositif PIDRET [6]. 6 : sonde IDF. 7 : aiguille à contact. 8 : couronne de récupération. Vues locale et globale par caméras ultra-rapides.

3. Résultats expérimentaux

La figure 3 représente la mesure en un point (IDF1) de la vitesse radiale de l'anneau sous expansion dynamique pour les trois matériaux considérés, à savoir un alliage d'aluminium, un cuivre et un acier doux. Des valeurs de déformation tangentielle totale et de vitesse de déformation tangentielle sont spécifiées à des points particuliers (instant de fragmentation dans le cas de l'alliage d'aluminium et de l'acier doux). Des images de la visualisation locale de l'expansion de l'anneau en cuivre à différents instants sont aussi insérées. Dans ce chapitre, seule l'expansion de l'anneau en cuivre sera commentée en détail en s'appuyant sur les observations menées dans [6] sur l'expansion des anneaux en acier doux et en alliage d'aluminium.

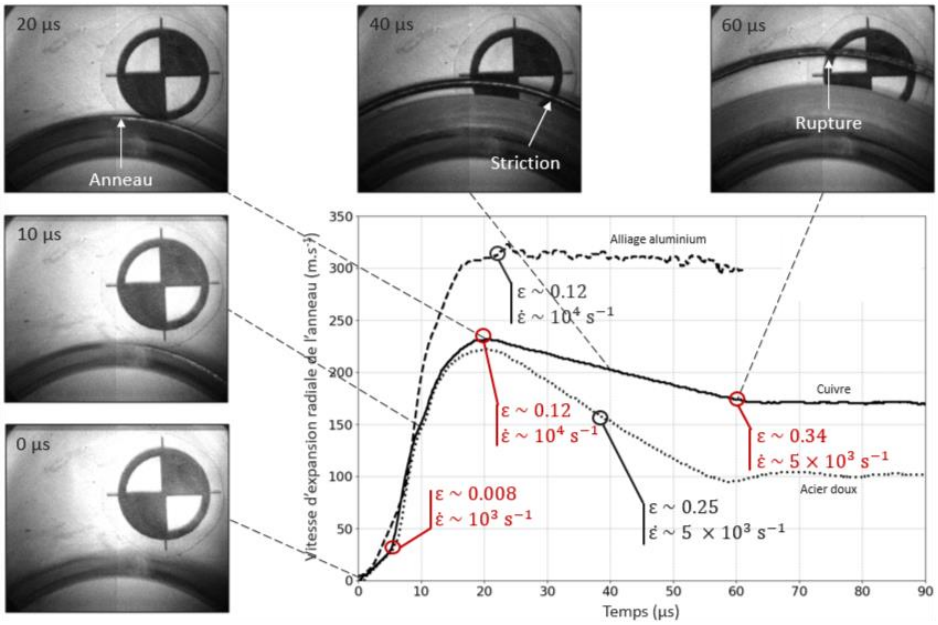

Fig. 3. Superposition de la vitesse radiale en un point de mesure (IDF1) pour l'expansion d'un anneau en alliage d'aluminium, en cuivre et en acier doux. Visualisation locale à différents instants de l'expansion radiale d'un anneau en cuivre.

D'après la figure 3, la vitesse radiale de l'anneau en cuivre peut être décomposée en quatre étapes : (1) une croissance linéaire allant de 0 à 25 m.s^{-1} en 5 µs, (2) une croissance non linéaire de 25 à 232 m.s^{-1} en 15 µs, (3) une décroissance quasi-linéaire allant de 232 à 172 m.s^{-1} en 40 µs puis (4) une stabilisation de la vitesse radiale. De plus, la gamme de vitesses de déformation tangentielle est comprise entre 10^3-10^4 s^{-1}, c'est-à-dire identique à celles d'expansion d'anneaux en acier doux et en alliage d'aluminium.
En s'appuyant sur la visualisation locale, l'anneau subit une pression sur sa surface générée par le contact avec le disque en PEHD pendant les étapes (1-2). Par la suite, l'anneau perd ce contact avec le PEHD durant l'étape (3) puis se fragmente au début de l'étape (4) à une déformation tangentielle apparente à rupture voisine de 0.34.
En combinant ces observations, l'anneau semble se déformer de manière homogène durant les étapes (1-2) puis, à l'étape (3), l'anneau perd le contact avec le PEHD et des localisations apparaissent : il est alors en expansion libre jusqu'à sa fragmentation au début de l'étape (4). Les fragments sont alors en vol libre.

Les étapes (1-2) de la mise en vitesse des anneaux en cuivre et en acier doux sont quasi superposées et la différence de la vitesse radiale maximale est de l'ordre de 5%. Toutefois, l'expansion d'un anneau en alliage d'aluminium permet d'atteindre une vitesse d'expansion maximale plus élevée. Un facteur 3 entre la masse volumique de l'acier ou du cuivre et celle de l'aluminium pourrait expliquer cette différence de mise en vitesse de l'anneau.
L'étape (3) n'est présente que pour l'acier ou le cuivre dont le comportement est plus ductile que l'alliage d'aluminium. Cette étape est annihilée par une fragmentation prématurée de l'anneau en alliage d'aluminium. La décroissance de la vitesse peut être expliquée par la capacité du matériau à se déformer plastiquement pendant son expansion (compétitivité entre l'énergie cinétique de l'anneau et l'énergie de déformation plastique).
L'étape (4) correspondant au vol libre des fragments est visible pour les 3 matériaux. La valeur de la vitesse résiduelle des fragments dépend de l'instant de fragmentation de l'anneau et donc de la ductilité du matériau.

4 Conclusion

Les observations in-situ et post-mortem menées sur l'expansion et la fragmentation d'un anneau sont cohérentes entre elles et traduisent correctement le comportement du matériau. L'expansion de l'anneau en cuivre et celle de l'anneau en acier doux ont des tendances similaires. En effet, leurs sollicitations suivent des étapes quasi-identiques, les valeurs de leur vitesse radiale maximale et de leur déformation totale sont du même ordre de grandeur. Leur comportement montre une ductilité plus importante que celle de l'alliage d'aluminium. Il semblerait donc que la masse volumique et la ductilité influencent l'expansion et la fragmentation de l'anneau. Ces observations devront être vérifiées en élargissant l'étude sur des matériaux permettant de couvrir une gamme de masses volumiques et de ductilités plus importante.

Références

[1] N. F. Mott. Fragmentation of shell cases, Proceedings of the Royal Society of London. Serie A. Mathematical and Physical Sciences, Vol.189, 300-308 (1945)
[2] D. E. Grady and M. E. Kipp. Mechanisms of dynamic fragmentation: Factors governing fragment size, Mechanics of Materials, Vol.3, 311-320 (1985)
[3] C. Neel, P. Sable, P. Flater and D. Lacina. Conical impact fragmentation test (CIFT), International Journal of Impact Engineering, Vol.23, 1-6 (2020)
[4] J. Zhang, F. Zhou et J. Liu. Experimental technique for dynamic fragmentation of liquid-driving expanding ring. EPJ Web of Conferences. 183, 02034 (2018)
[5] H. Zhang et K. Ravi-Chandar. On the dynamics of necking and fragmentation – I. Real-time and post-mortem observations in Al 6061-O. International Journal of Fracture. 142, 183-217. (2006)
[6] F. Gant, G. Seisson, P. Longère, S. El Maï et J.-L. Zinszner. Plate-impact-driven ring expansion test (PIDRET) for dynamic fragmentation. Proceedings of the 13th DYMAT Conference. (2021)