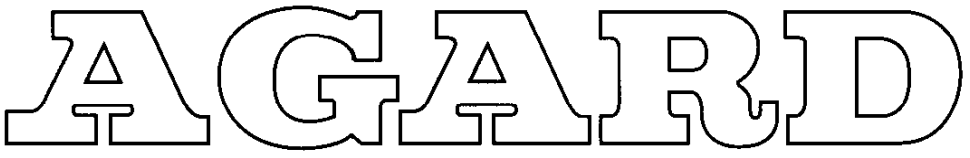
AGARD-AR-353



ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH & DEVELOPMENT
7 RUE ANCELLE, 92200 NEUILLY-SUR-SEINE, FRANCE

AGARD ADVISORY REPORT 353

Aluminum Alloy Forgings Property/Performance Attributes

Focus: Fatigue and Durability Service Capabilities
(les Pièces forgées en alliage d'aluminium
les attributs de performance/caractéristiques
thèmes: fatigue et durabilité capacités en service)

North Atlantic Treaty Organization
Organisation du Traité de l'Atlantique Nord

The Mission of AGARD*

According to its Charter, the mission of AGARD is to bring together the leading personalities of the NATO nations in the fields of science and technology relating to aerospace for the following purposes:

- Recommending effective ways for the member nations to use their research and development capabilities for the common benefit of the NATO community;
- Providing scientific and technical advice and assistance to the Military Committee in the field of aerospace research and development (with particular regard to its military application);
- Continuously stimulating advances in the aerospace sciences relevant to strengthening the common defence posture;
- Improving the co-operation among member nations in aerospace research and development;
- Exchange of scientific and technical information;
- Providing assistance to member nations for the purpose of increasing their scientific and technical potential;
- Rendering scientific and technical assistance, as requested, to other NATO bodies and to member nations in connection with research and development problems in the aerospace field.

The highest authority within AGARD is the National Delegates Board consisting of officially appointed senior representatives from each member nation. The mission of AGARD is carried out through the Panels which are composed of experts appointed by the National Delegates, the Consultant and Exchange Programme and the Aerospace Applications Studies Programme. The results of AGARD work are reported to the member nations and the NATO Authorities through the AGARD series of publications of which this is one.

Participation in AGARD activities is by invitation only and is normally limited to citizens of the NATO nations.

* AGARD merged with the Defence Research Group of NATO (DRG) on 1 January 1998 to form the Research and Technology Organization (RTO) of NATO. However, both AGARD and DRG will continue to issue publications under their own names in respect of work performed in 1997.

Printed on recycled paper

Published May 1998

ISBN 92-836-1074-1

Printed by Canada Communication Group Inc.
(A St. Joseph Corporation Company)
45 Sacré-Cœur Blvd., Hull (Québec), Canada K1A 0S7

AGARD

NATO OTAN

7 RUE ANCELLE • 92200 NEUILLY-SUR-SEINE

FRANCE

Télécopie 0(1)55.61.22.99 • Télex 610 176

DIFFUSION DES PUBLICATIONS

AGARD NON CLASSIFIEES

L'AGARD détient un stock limité de certaines de ses publications récentes. Celles-ci pourront éventuellement être obtenus sous forme de copie papier. Pour de plus amples renseignements concernant l'achat de ces ouvrages, adressez-vous à l'AGARD par lettre ou par télécopie à l'adresse indiquée ci-dessus. *Veuillez ne pas téléphoner.*

Des exemplaires supplémentaires peuvent parfois être obtenus auprès des centres de diffusion nationaux indiqués ci-dessous. Si vous souhaitez recevoir toutes les publications de l'AGARD, ou simplement celles qui concernent certains Panels, vous pouvez demander d'être inclus sur la liste d'envoi de l'un de ces centres.

Les publications de l'AGARD sont en vente auprès des agences de vente indiquées ci-dessous, sous forme de photocopie ou de microfiche. Certains originaux peuvent également être obtenus auprès de CASI.

CENTRES DE DIFFUSION NATIONAUX

ALLEMAGNE
Fachinformationszentrum Karlsruhe
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen 2

BELGIQUE
Coordonnateur AGARD - VSL
Etat-major de la Force aérienne
Quartier Reine Elisabeth
Rue d'Evere, B-1140 Bruxelles

CANADA
Directeur - Gestion de l'information
(Recherche et développement) - DRDGI 3
Ministère de la Défense nationale
Ottawa, Ontario K1A 0K2

DANEMARK
Danish Defence Research Establishment
Ryvangs Allé 1
P.O. Box 2715
DK-2100 Copenhagen Ø

ESPAGNE
INTA (AGARD Publications)
Carretera de Torrejón a Ajalvir, Pk.4
28850 Torrejón de Ardoz - Madrid

ETATS-UNIS
NASA Center for AeroSpace Information (CASI)
Parkway Center, 7121 Standard Drive
Hanover, MD 21076

FRANCE
O.N.E.R.A. (Direction)
29, Avenue de la Division Leclerc
92322 Châtillon Cedex

GRECE
Hellenic Air Force
Air War College
Scientific and Technical Library
Dekelia Air Force Base
Dekelia, Athens TGA 1010

ISLANDE
Director of Aviation
c/o Flugrad
Reykjavik

ITALIE
Aeronautica Militare
Ufficio Stralcio AGARD
Aeroporto Pratica di Mare
00040 Pomezia (Roma)

LUXEMBOURG
Voir Belgique

NORVEGE
Norwegian Defence Research Establishment
Attn: Biblioteket
P.O. Box 25
N-2007 Kjeller

PAYS-BAS
Netherlands Delegation to AGARD
National Aerospace Laboratory NLR
P.O. Box 90502
1006 BM Amsterdam

PORTUGAL
Estado Maior da Força Aérea
SDFA - Centro de Documentação
Alfragide
P-2720 Amadora

ROYAUME-UNI
Defence Research Information Centre
Kentigern House
65 Brown Street
Glasgow G2 8EX

TURQUIE
Millî Savunma Başkanliği (MSB)
ARGE Dairesi Başkanliği (MSB)
06650 Bakanliklar - Ankara

AGENCES DE VENTE

NASA Center for AeroSpace Information (CASI)
Parkway Center, 7121 Standard Drive
Hanover, MD 21076
Etats-Unis

The British Library Document Supply Division
Boston Spa, Wetherby
West Yorkshire LS23 7BQ
Royaume-Uni

Les demandes de microfiches ou de photocopies de documents AGARD (y compris les demandes faites auprès du CASI) doivent comporter la dénomination AGARD, ainsi que le numéro de série d'AGARD (par exemple AGARD-AG-315). Des informations analogues, telles que le titre et la date de publication sont souhaitables. Veuiller noter qu'il y a lieu de spécifier AGARD-R-nnn et AGARD-AR-nnn lors de la commande des rapports AGARD et des rapports consultatifs AGARD respectivement. Des références bibliographiques complètes ainsi que des résumés des publications AGARD figurent dans les journaux suivants:

Scientific and Technical Aerospace Reports (STAR)
STAR peut être consulté en ligne au localisateur de ressources uniformes (URL) suivant:
http://www.sti.nasa.gov/Pubs/star/Star.html
STAR est édité par CASI dans le cadre du programme NASA d'information scientifique et technique (STI)
STI Program Office, MS 157A
NASA Langley Research Center
Hampton, Virginia 23681-0001
Etats-Unis

Government Reports Announcements & Index (GRA&I)
publié par le National Technical Information Service
Springfield
Virginia 2216
Etats-Unis
(accessible également en mode interactif dans la base de données bibliographiques en ligne du NTIS, et sur CD-ROM)

Imprimé par le Groupe Communication Canada Inc.
(membre de la Corporation St-Joseph)
45, boul. Sacré-Cœur, Hull (Québec), Canada K1A 0S7

AGARD

NATO OTAN

7 RUE ANCELLE • 92200 NEUILLY-SUR-SEINE

FRANCE

Telefax 0(1)55.61.22.99 • Telex 610 176

DISTRIBUTION OF UNCLASSIFIED

AGARD PUBLICATIONS

AGARD holds limited quantities of some of its recent publications, and these may be available for purchase in hard copy form. For more information, write or send a telefax to the address given above. *Please do not telephone.*

Further copies are sometimes available from the National Distribution Centres listed below. If you wish to receive all AGARD publications, or just those relating to one or more specific AGARD Panels, they may be willing to include you (or your organisation) in their distribution.

AGARD publications may be purchased from the Sales Agencies listed below, in photocopy or microfiche form. Original copies of some publications may be available from CASI.

NATIONAL DISTRIBUTION CENTRES

BELGIUM
Coordonnateur AGARD - VSL
Etat-major de la Force aérienne
Quartier Reine Elisabeth
Rue d'Evere, B-1140 Bruxelles

CANADA
Director Research & Development
Information Management - DRDIM 3
Dept of National Defence
Ottawa, Ontario K1A 0K2

DENMARK
Danish Defence Research Establishment
Ryvangs Allé 1
P.O. Box 2715
DK-2100 Copenhagen Ø

FRANCE
O.N.E.R.A. (Direction)
29 Avenue de la Division Leclerc
92322 Châtillon Cedex

GERMANY
Fachinformationszentrum Karlsruhe
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen 2

GREECE
Hellenic Air Force
Air War College
Scientific and Technical Library
Dekelia Air Force Base
Dekelia, Athens TGA 1010

ICELAND
Director of Aviation
c/o Flugrad
Reykjavik

ITALY
Aeronautica Militare
Ufficio Stralcio AGARD
Aeroporto Pratica di Mare
00040 Pomezia (Roma)

LUXEMBOURG
See Belgium

NETHERLANDS
Netherlands Delegation to AGARD
National Aerospace Laboratory, NLR
P.O. Box 90502
1006 BM Amsterdam

NORWAY
Norwegian Defence Research Establishment
Attn: Biblioteket
P.O. Box 25
N-2007 Kjeller

PORTUGAL
Estado Maior da Força Aérea
SDFA - Centro de Documentação
Alfragide
P-2720 Amadora

SPAIN
INTA (AGARD Publications)
Carretera de Torrejón a Ajalvir, Pk.4
28850 Torrejón de Ardoz - Madrid

TURKEY
Milli Savunma Başkanliği (MSB)
ARGE Dairesi Başkanliği (MSB)
06650 Bakanliklar - Ankara

UNITED KINGDOM
Defence Research Information Centre
Kentigern House
65 Brown Street
Glasgow G2 8EX

UNITED STATES
NASA Center for AeroSpace Information (CASI)
Parkway Center, 7121 Standard Drive
Hanover, MD 21076

SALES AGENCIES

NASA Center for AeroSpace Information (CASI)
Parkway Center, 7121 Standard Drive
Hanover, MD 21076
United States

The British Library Document Supply Centre
Boston Spa, Wetherby
West Yorkshire LS23 7BQ
United Kingdom

Requests for microfiches or photocopies of AGARD documents (including requests to CASI) should include the word 'AGARD' and the AGARD serial number (for example AGARD-AG-315). Collateral information such as title and publication date is desirable. Note that AGARD Reports and Advisory Reports should be specified as AGARD-R-nnn and AGARD-AR-nnn, respectively. Full bibliographical references and abstracts of AGARD publications are given in the following journals:

Scientific and Technical Aerospace Reports (STAR)
STAR is available on-line at the following uniform resource locator:
http://www.sti.nasa.gov/Pubs/star/Star.html
STAR is published by CASI for the NASA Scientific and Technical Information (STI) Program
STI Program Office, MS 157A
NASA Langley Research Center
Hampton, Virginia 23681-0001
United States

Government Reports Announcements & Index (GRA&I)
published by the National Technical Information Service
Springfield
Virginia 22161
United States
(also available online in the NTIS Bibliographic Database or on CD-ROM)

Printed by Canada Communication Group Inc.
(A St. Joseph Corporation Company)
45 Sacré-Cœur Blvd., Hull (Québec), Canada K1A 0S7

ISBN 92-836-1074-1

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. Recipient's Reference	2. Originator's Reference	3. Further Reference	4. Security Classification of Document
	AGARD-AR-353	ISBN 92-836-1074-1	UNCLASSIFIED/ UNLIMITED

5. Originator Advisory Group for Aerospace Research and Development
North Atlantic Treaty Organization
7 rue Ancelle, 92200 Neuilly-sur-Seine, France

6. Title
Aluminum Alloy Forgings

7. Presented at/sponsored by

8. Author(s)/Editor(s)	9. Date
Multiple	May 1998
10. Author's/Editor's Address	**11. Pages**
Multiple	64

12. Distribution Statement There are no restrictions on the distribution of this document. Information about the availability of this and other AGARD unclassified publications is given on the back cover.

13. Keywords/Descriptors

Airframes	Tolerances (materials)
Airworthiness	Aviation safety
Aluminum alloys	Cracking (fracturing)
Components	Service life
Loads (forces)	Metal plates
Forgings	Properties
Durability	Performance evaluation
Damage	Fatigue (materials)

14. Abstract

Historically, many aluminum aircraft components have been made from forgings. However, to reduce airframe manufacturing cost aircraft manufacturers are converting to parts machined from thick plate. The results of recent research indicates that forgings often offer significant advantages over components machined from plate. The purpose of this report is to present this information.

Aluminum Alloy Forgings

(AGARD AR-353)

Executive Summary

Primary airframe components are designed to specific static and dynamic loading requirements and other functional criteria. The airworthiness of an aircraft requires fulfilling all the operational requirements with the additional assurance that safety-of-flight and serviceability will be maintained in the event of unforeseen structural damage.[1-3] Airworthiness validation procedures have their foundation in durability and damage tolerance assessment technologies, that are in turn linked to airplane safety and mission objectives.[4-8] As aircraft life expectations continue to rise as a result of declining replacement budgets, the likelihood exists that incidence of fatigue cracking (possibly exacerbated by corrosion) will become more widespread.[9] Thus, engineers responsible for the design, certification and maintenance of longer-lived aircraft (both existing and new) will be increasingly challenged to provide effective strategies that curtail onset of widespread cracking, and mitigate the risk of it becoming a threat to safety and operational efficiency.[5,9]

Growth in size of aircraft and pressures to reduce airframe manufacturing cost have resulted in a trend to replace built-up assemblies with thick, monolithic components. Hand and closed-die forgings and thick plate are high strength aluminum product forms competing for a number of these part applications. Airframe manufacturers are converting parts historically made from forgings to thick plate "hogouts" to reduce manufacturing costs. However, available research and understanding of high strength aluminum alloy process-microstructure-performance relationships combined with advanced manufacturing technologies under development for forgings show that forgings offer distinct advantages over plate "hogouts" in terms of structural airworthiness needs.

This document demonstrates that excellent durability and damage tolerance capabilities emerge directly from the forged products' microstructure and fabrication history. Data and examples are provided to show how high strength aluminum (7050-T7X, et.al.) forgings can be differentiated as a high quality product that can create a user preference. Advantages of forgings relevant to industry drives for longer life, higher performance and lower total cost of ownership are presented, and needed actions to realize the optimal value of forgings are defined.

N.B. The references are found on page 15 of the document.

Les pièces forgées en alliage d'aluminum
(AGARD AR-353)

Synthèse

Les composants élémentaires des cellules d'avion sont étudiés en fonction de spécifications précises en matière de charges statiques et dynamiques, ainsi que d'un certain nombre d'autres critères fonctionnels. Pour être considéré comme apte au vol, un aéronef doit satisfaire à l'ensemble des besoins opérationnels. En outre, la sécurité en vol et l'aptitude au service doivent être assurés en cas d'endommagement imprévu de la structure.[1-3]

Les procédures de validation de l'aptitude au vol sont basées sur les technologies de longévité et d'évaluation de la tolérance aux dommages subis, lesquels sont, à leur tour, liés aux objectifs opérationnels et à la sécurité des vols.[4-8] La durée de vie utile des aéronefs continue à croître en raison de la diminution des budgets consacrés au renouvellement du parc aérien et il est vraisemblable que l'incidence des fissures de fatigue (éventuellement exacerbée par la corrosion) se généralise de plus en plus.[9] Par conséquent, les ingénieurs responsables de la conception, la certification et la maintenance d'aéronefs dont la durée de vie doit être prolongée (neufs et existants), seront de plus en plus mis au défi de prévoir des stratégies qui permettent d'atténuer le phénomène de la fissuration généralisée, et de réduire le risque qu'il représente pour la sécurité et l'efficacité des missions.[5,9]

L'augmentation de la taille des avions et les contraintes imposées par le souci de diminution des coûts de fabrication des cellules, expliquent la tendance qui consiste à remplacer les systèmes assemblés par des composants épais d'une seule pièce. Les pièces forgées à la main ou à matrice fermée, ainsi que la tôle forte, sont des produits en aluminium à haute résistance adaptés pour ces applications. Aujourd'hui, les avionneurs remplacent les pièces forgées traditionnelles par des pièces en tôle forte afin de réduire les coûts de fabrication. Cependant, l'état actuel des connaissances de l'interaction procédés/microstructures/performances des alliages d'aluminium à haute résistance, associée aux technologies avancées de fabrication qui sont en cours de développement pour les pièces forgées, indique que les pièces forgées offrent des avantages appréciables par rapport aux solutions à tôle forte du point de vue de la résistance des structures.

Ce document démontre que l'excellence en matière de longévité et de tolérance aux dommages subis découle directement de la microstructure forgés et de la nature de leur fabrication. Des données et des exemples relatifs aux pièces forgées en aluminium à haute résistance (7050-T7X et.al.) servent à confirmer l'accueil favorable qui pourrait être réservé à ces produits de haute qualité par les avionneurs. Les avantages des pièces forgées, face aux attentes des industriels concernant l'extension de la durée de vie des composants, l'accroissement des performances et la diminution des coûts globaux de possession sont présentés, et les actions permettant de réaliser des pièces forgées de qualité optimale sont définies.

N.B. Les références se trouvent à la page 15 du document.