

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Numerical evaluation of strain energy release rate in adhesive joints Eskandarian, M.; D'Amours, G.; Papini, M.; Spelt, J. K.

This publication could be one of several versions: author's original, accepted manuscript or the publisher's version. / La version de cette publication peut être l'une des suivantes : la version prépublication de l'auteur, la version acceptée du manuscrit ou la version de l'éditeur.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

31st Annual Meeting of the Adhesion Society [Proceedings], 2008-02

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC : https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=854c0bdc-5258-4a7c-8fa3-8ac1e744b0c4 https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=854c0bdc-5258-4a7c-8fa3-8ac1e744b0c4

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site <u>https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits</u> LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.







Numerical evaluation of strain energy release rate in adhesive joints

M. Eskandarian¹⁾, G. d'Amours¹⁾, M. Papini²⁾ and J.K. Spelt³⁾

¹⁾ Aluminium Technology Centre, Industrial Materials Institute, National Research Council Canada (ATC/IMI/NRC), 501 boul. de l'Université, Chicoutimi (Québec), Canada G7H 8C3

²⁾ Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Architecture and Science, Ryerson University, 350 Victoria Street, Toronto, Ontario, Canada M5B 2K3

³⁾ Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, 5 King's College Road, Toronto, Ontario, Canada M5S 3G8

A generalized engineering approach to fracture load predictions for adhesive joints has been already presented in Refs. [1] and [2]. The approach is based on the premise that the strength of any adhesive system can be characterized by an experimentally measured fracture envelope, which is the variation of critical strain energy release rate, G_c , as a function of loading mode (mode ratio). The results of quasi-static fracture tests on doublecantilever-beam (DCB), cracked-lap-shear (CLS) and single-lap-shear (SLS) joints made of aluminum and steel confirmed the applicability of the model for engineering design of adhesive joints. In the present work, a series of finite element models (ANSYS / LS-Dyna) were used to calculate the strain energy release, G, as a function of loading mode for a variety of adhesive joints. The adhesive was modeled as a rate-independent plastic-elastic material, while elastic behavior was assumed for the adherends. The critical energy release rate in adhesive joints was evaluated on the basis of adhesive bulk material properties. The effects of geometry and substrate material were also studied by comparing the G_c values, the stress fields and the strain rates in the adhesive layers of aluminum and steel DCB, CLS and SLS joints. Comparisons are made between analytical and numerical predictions of G_c .

References:

G. Fernlund, M. Papini, D. McCammond and J.K. Spelt, Fracture load predictions for adhesive joints, *Compos. Sci. Technol.*, vol. 51, 587 (1994).
 M. Papini, G. Fernlund and J.K. Spelt, Effect of crack-growth mechanism on the prediction of fracture load of adhesive joints, *Compos. Sci. Technol.*, vol. 52, 561 (1994).

Conseil national de recherches Canada

National Research Council Canada

Industrial Materials

Institute

Institut des matériaux industriels

Fiche d'information et d'autorisation pour documents internes, externes et conférences **CTA**

Nom	l pour l'I Prénom	Centre financ.	Centre de coût	Commande interne	Signature		Date sign. l	Premi aute publica
Eskandarian	Mojtaba	502300	502305	859	M. GK	andarre	08/14/200	7 *
itres auteurs				Externe		γ		i
d'Amours	Guillaume	502300	502303		Comlla L	Uman	14asut2	007
Papini	Marcello			Ryerson Univ.				
Spelt	Jan K.		11 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	UofT				
								DAN SA Z
			<u>1998 (1997)</u> 1997 -					
* le certifie en tar	nt que premie	r auteur au	e i'ai vérifié	avec le(s) partenair	e(e) au'il(e) n'a (n'	ont) pas d'objection à		
		r auteur, qu	e jai vernie	avec le(s) partenant	e(s) qu'ii(s) ii a (ii	ont) pas o objection a	a ce docume	nt.
ocument		WIND ST.	an a		A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR O			ALC: NO.
tre			*****		******			
umerical evalua	tion of stra	ain energ	y release	e rate in adhesiv	/e joints			
tatut de distr	ibution	Général						
	,							
ype ◯ Sommaire (abst	tract)	Éaritf	inal à auiur			0::	*****	
	-	ECRIT	inal a sulvr	re: OOui OON	on	Si oui, date :		
Rapport	O Techniq	ue Ölno	lustriel de	service				
	O Techniq	ue Ölno	lustriel de	service			*****	
Autre		****	lustriel de	service			*****	
) Autre Document sour	nis pour pu	blication			indiquer les num	iéros :		
O Autre	nis pour pu re (abstract)	blication		lemment, veuillez i	indiquer les num	iéros :	****	
O Autre Document sour Si un sommai IMI	nis pour pu re (abstract) ໄ ິເ	blication a été sour 166	mis précéc CNRC	lemment, veuillez CNRC		iéros :		
O Autre Document sour Si un <u>sommai</u>	nis pour pu re (abstract) ໄ ິເ	blication a été sour 166	mis précéc CNRC	lemment, veuillez i		néros :		
Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da	mis pour pu re (abstract) ໄ ິເ ans	blication a été sour 166	mis précéc CNRC	lemment, veuillez CNRC g of the Adhesion S		iéros :		
Decument sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de :	mis pour pu re (abstract) II 6 ans onférence :	blication a été sour 166 31st Annu	mis précéo CNRC ual Meeting	lemment, veuillez CNRC g of the Adhesion S	Society	héros : Date : [
IMI À présenter da le cadre de : Date de la c À paraître dar	nis pour pu re (abstract) II 6 ans onférence :	blication a été sour f 6 C 31st Annu Procès-ve	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o	lemment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence	Society Austin, Texas	 Date : [
D Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dar atut de publ	mis pour pu re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve À ê	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o tre complét	lemment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s		
Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la cadre de l	nis pour pu re (abstract) I 6 ans onférence : ns : ication avec comité	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture	mis précéc CNRC [ual Meeting erbaux de c	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de	Anne	ée cal.
D Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la cu À paraître dar atut de publ	mis pour pu re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence	blication a été sour 1 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec co	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o tre complét mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. licatior
Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre : Procès-verbal ca	mis pour pu re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence	blication a été sour 1 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec co	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o tre complét mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de	Anno publ	ée cal.
 Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre Procès-verbal de Autre 	nis pour pu re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence	blication a été sour 1 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec co	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o tre complét mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. lication
Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar A paraître dar Encès-verbal ca Procès-verbal ca	nis pour pu re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence	blication a été sour 1 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec co	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o tre complét mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. licatior
 Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre Procès-verbal de Procès-verbal de Autre Paru dans (vol. pp 	mis pour pur re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence	blication a été sour 166 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec co	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o tre complét mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. licatior
D Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publ Revue ou livre : Procès-verbal ca Procès-verbal ca Autre Paru dans (vol. pp Itres information	mis pour pur re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture a avec con a sans co	mis précéo CNRC ual Meeting erbaux de o tre complét mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. licatior
Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publ Revue ou livre Procès-verbal ou Procès-verbal ou Autre Paru dans (vol. pp Itres informa Partenaires :	mis pour pur re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence) :	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture a avec con a sans co	mis précéc CNRC [ual Meeting erbaux de c tre complét mité de lec mité de lec mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. licatior
Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre Procès-verbal de la ca Procès-verbal de la ca A paraître dar atut de publi Procès-verbal de la ca Autre Paru dans (vol. pp Itres informa Partenaires : Déclaration d'invertise	mis pour pur re (abstract) II & ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence) : ations	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve A ê de lecture ce avec cor ce sans cor Genera	mis précéc CNRC [ual Meeting erbaux de c tre complét mité de lec mité de lec mité de lec mité de lec	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe.	Society Austin, Texas	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. licatior
 Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre Procès-verbal de Autre 	mis pour pur re (abstract) IIG ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence) : ations ntion : et déposée :	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve A ê de lecture æ avec con æ sans con Genera Non Non	mis précéc CNRC ual Meeting erbaux de c tre complét mité de lec mité de lec mité de lec l Motors Da Pay	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe. cture cture	Society Austin, Texas Veuillez l'aviser l	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. lication
D Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre Autre Procès-verbal de Procès-verbal de Autre Paru dans (vol. pp) utres informa Partenaires : Déclaration d'inver Demande de breve Si non, explications	mis pour pur re (abstract) IIG ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence) : ations ntion : et déposée :	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve A ê de lecture æ avec con æ sans con Genera Non Non	mis précéc CNRC ual Meeting erbaux de c tre complét mité de lec mité de lec mité de lec l Motors Da Pay	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe. cture cture ture tte : ys :	Society Austin, Texas Veuillez l'aviser l	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. licatior
D Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre : Procès-verbal de Deratenaires : Déclaration d'inver Demande de breve	mis pour pur re (abstract) IIG ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence) : ation : et déposée : s :	blication a été sour f c c 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec con ce sans co Genera Non Non-pa	mis précéc CNRC [Jal Meeting erbaux de c tre complét mité de lec mité de lec I Motors Da Pay tentable re	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe. cture cture ture tte : ys :	Society Austin, Texas Veuillez l'aviser l	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. lication
D Autre D Occument sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre : Autre Procès-verbal de Si non, explications Orobations Orobations	mis pour pur re (abstract) IIG ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence) : ation : et déposée : s :	blication a été sour f 6 6 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec co ce sans co ce sans co Genera Non Non-pa	mis précéc CNRC [Jal Meeting erbaux de c tre complét mité de lec mité de lec I Motors Da Pay tentable re	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe. cture cture tte : [ys : [search test results Addated and a	Society Austin, Texas Veuillez l'aviser l $26 \int O \int O \int S$	Date : Date : Date : Date de publication 2008-02-17	Anne publ	ée cal. ication 2008
D Autre Document sour Si un sommai IMI À présenter da le cadre de : Date de la ca À paraître dar atut de publi Revue ou livre Procès-verbal de Procès-verbal de Procès-verbal de Procès-verbal de Partenaires : Déclaration d'inver Demande de breve Si non, explications	mis pour pur re (abstract) II 6 ans onférence : ns : ication avec comité de conférence de conférence) : ations ntion : et déposée : s : I 8	blication a été sour f c c 31st Annu Procès-ve À ê de lecture ce avec con ce sans co Genera Non Non-pa	mis précéc CNRC al Meeting erbaux de c tre complét mité de lec mité de lec mité de lec l Motors Da Pay tentable re	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion S Lieu : conférence é par votre adjointe. cture cture ture tte : ys :	Society Austin, Texas Veuillez l'aviser I	Date : orsque l'information s Date de publication	Anno publ	ée cal. ication 2008

National Research Conseil national de Council Canada recherches Canada

> Industrial Materials Institute

Institut des matériaux industriels

∎**≁**∎

2

iteur principal Nom F	pour l'Il Prénom	MI Centre financ.	Centre de coût	Commande interne	Signature	Date sign.	Premier auteur publicatio
Eskandarian	Mojtaba	502300	502305	50_859_76		08/14/200	7 *
utres auteurs				Externe			
d'Amours (Guillaume	502300	502303		and the second		
Schroeder	J essica A .			GM R&D			
Faulkner	Douglas L.	l	-	GM R&D	hiting	10 A.I.	$\overline{\mathbf{n}}$
che averationation and in the second and and	Marcello	[Ryerson Univ.	Mar	oopero	't
Spelt	Jan K.			UofT			
		<u></u>	a an		 Constraint or state of the desired set of the state of th	and the second	
			-				
		i da di		y y an an an Andrea Andrea	1.1.55 C.S. 74 H425	*** • * *******	
1	× .			123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123 - 123	17 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 -		
P							
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sour 	O ⊤echnic	que O In ublication	dustriel de			ə : [
Autre Document sourr	O ⊤echnic	que O In ublication	dustriel de umis précé	service	lon Si oui, dat indiquer les numéros :	a : [
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un <u>sommair</u> 	O Technic nis pour pr re (abstract	que O In ublication	dustriel de umis précé CNRC	service demment, veuillez	indiquer les numéros :	a : [
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da 	O Technic nis pour pa re (abstract	que O In ublication () a été sou 31st Ann	dustriel de umis précé CNRC	service demment, veuillez CNRC g of the Adhesion	indiquer les numéros :	a : [
Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un <u>sommair</u> IMI À présenter da le cadre de : Date de la co	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence :	que O In ublication) a été sou 31st Ann	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin	service demment, veuillez CNRC g of the Adhesion	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas	e : [Date :]	
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan 	O Technic nis pour pu re (abstract ans onférence : is :	ublication a été sou 31st Ann Procès-v	dustriel de umis précé CNRC uual Meetin verbaux de	service demment, veuillez [CNRC g of the Adhesion Lieu conférence	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas	Date :	
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan Catut de publicita 	O Technic nis pour pr (abstract ans onférence : is : ication	que O In ublication) a été sou 31st Ann Procès-v	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être complé	service demment, veuillez [CNRC g of the Adhesion Lieu conférence	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas	Date :]	
Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan itatut de publi Revue ou livre a	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comit	ublication) a été sou 31st Ann Procès-v é de lectur	dustriel de umis précé CNRC ual Meetin verbaux de être comple e	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'info Date	Date : mation sera dispon de Ani	née cal.
O Sommaire (abstr O Rapport O Autre ● Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan itatut de publi □ Revue ou livre a ⊠ Procès-verbal do	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comit de conférer	ublication) a été sou 31st Ann Procès-v é de lectur ice avec c	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas	Date : mation sera dispon de Ann ation put	
Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan tatut de publi Revue ou livre a Procès-verbal d	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comit de conférer	ublication) a été sou 31st Ann Procès-v é de lectur ice avec c	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'infé Date public	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan tatut de publi Revue ou livre a Procès-verbal d Procès-verbal d Autre	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : ication avec comite de conférer de conférer	ublication) a été sou 31st Ann Procès-v é de lectur ice avec c	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'infé Date public	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan Catut de publi Revue ou livre a Procès-verbal d Procès-verbal d Autre Paru dans (vol. pp) 	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comitu de conférer de conférer) :	ublication) a été sou 31st Ann Procès-v é de lectur ice avec c	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'infé Date public	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan tatut de publi Revue ou livre a Procès-verbal d Procès-verbal d Autre	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comitu de conférer de conférer) :	ublication) a été sou 31st Ann Procès-v é de lectur ice avec c	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'infé Date public	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan Catut de publi Revue ou livre a Procès-verbal d Procès-verbal d Autre Paru dans (vol. pp) 	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comitu de conférer de conférer) :	que O In ublication a été sou 31st Ann Procès-V é de lectur nec avec c nec sans c	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'infé Date public	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
 ○ Sommaire (abstr ○ Rapport ○ Autre ○ Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan ○ Date de la co À paraître dan ○ Tocès-verbal de Procès-verbal de Autre ○ Autre ○ Paru dans (vol. pp) ○ Autres information 	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : ication avec comit de conféren de conféren de conféren) :	que O In ublication a été sou 31st Ann Procès-V é de lectur nec avec c nec sans c	umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le omité de le ral Motors	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'infé Date public	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
 ○ Sommaire (abstr ○ Rapport ○ Autre ○ Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan ○ Date de la co À paraître dan ○ Autre de Procès-verbal do Derocès-verbal do Autre ○ Paru dans (vol. pp) ○ Autres informa ○ Partenaires : 	O Technic nis pour pur e (abstract ans onférence : is : ication avec comitu de conféren de conféren de conféren) :) :) :	ublication) a été sou 31st Ann Procès- é de lectur nce avec c nce sans c Gener Nc	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être comple e omité de le omité de le omité de le	demment, veuillez [CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par votre adjointe ecture ecture	indiquer les numéros : Society : Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'infé Date public	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
 Sommaire (abstr Rapport Autre Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan Catut de publi Revue ou livre a Procès-verbal d Procès-verbal d Autre Paru dans (vol. pp) Cutres informa Partenaires : Déclaration d'inver 	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : ication avec comite de conféren de conféren	ublication) a été sou 31st Ann Procès- é de lectur nce avec c nce sans c Gener Nc : Nc	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être complé e omité de le omité de le omité de le comité de le comité de le comité de le comité de le comité de le comité de le	demment, veuillez [CNRC g of the Adhesion Lieu conférence até par voire adjointe ecture ecture	indiquer les numéros : Society : [Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'info Date public [2008-f	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
 ○ Sommaire (abstr ○ Rapport ○ Autre ○ Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan Catut de publi ○ Revue ou livre a ○ Procès-verbal d ○ Procès-verbal d ○ Procès-verbal d ○ Autre Paru dans (vol. pp) Autres informa Partenaires : Déclaration d'inver Demande de breve 	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comit de conféren de	ublication) a été sou 31st Ann Procès- é de lectur nce avec c nce sans c Gener Nc : Nc	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être complé e omité de le omité de le omité de le comité de le comité de le comité de le comité de le comité de le comité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence sté par voire adjointe secture secture bate : [ays :]	indiquer les numéros : Society : [Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'info Date public [2008-f	Date : mation sera dispon de Ann ation put	née cal. olication
 ○ Sommaire (abstr ○ Rapport ○ Autre ○ Document sourr Si un sommair IMI À présenter da le cadre de : Date de la co À paraître dan Catut de publi ○ Revue ou livre a ○ Procès-verbal d ○ Procès-verbal d ○ Autre Paru dans (vol. pp) Cutres information Partenaires : Déclaration d'inver Demande de breve Si non, explication 	O Technic nis pour pur re (abstract ans onférence : is : ication avec comite de conféren de conféren d	ublication) a été sou 31st Ann Procès- é de lectur nce avec c nce sans c Gener Nc : Nc	dustriel de umis précé CNRC nual Meetin verbaux de être complé e omité de le omité de le omité de le comité de le comité de le comité de le comité de le comité de le comité de le	demment, veuillez CNRC g of the Adhesion Lieu conférence sté par voire adjointe secture secture bate : [ays :]	indiquer les numéros : Society : [Austin, Texas Veuillez l'aviser lorsque l'info Date public [2008-f	Date : Imation seraidispon de Ani ation put)2-17	née cal. olication

	8/14/200		4169787 8 7 Fax	73.	5			MIE						B	PAGE
	Cons	oli natio	nal de	Nat	iohal R	esearch				'	.	1		003	
T III	📕 reche	rches C	anada	Ċo	incii Ca	inada			,						
	inetitu	ıt des m	atéreux	Inde	uetriai N	Aateriale		:		· ·					
	Indus	triels			itute			:							
							mation							_	
		P	our da	CU	me	nts int	ernes,	exte	arnes	et o	confér	ence	es	C7	ΓΑ
Aut	leurs		n general de la composition de la compo Notación de la composition de la composition de la composition		in an	National States		in an	1. 			094.20		波伸***20	- 1964 1977 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 - 1978 -
			l pour l'		J.		14) - Coli	· · · · · ·	in an	and the second	n shangar a t	SANS NO 1	n an	_	emier
	Nom		Prénom	Çe	entre	Centre	Command	ie i	Signati	Ine		_	Date	81	uteur
le	Eskandaria		Mojtaba		1 21300	de coût 502305	859	— <u>—</u>	T	The			sign.		lication *
•	tres aut		1	1	1	POLOGO	Externe	i	1.0/01.	y ic	andarra		08/14/2	2007	
	d'Amours		Guillaumo	50	300	502303	T	İ	6-1	the 1	ansin		140.00	3-7- 007	
	Schroeder		Jessica A		1	· · · · · ·	GM R&D	Ţ			·	•••• •••••••••••••••••••••••••••••••••	1		
1	Faulkner		Douglas I		-		GM R&D								
106	Papini Spelt	···	Marcello Jan K.			·	Ryerson Ur	niv.	·····						
	an a	•		•••	1.		UofT		P	-	gar-		174	¥°2	
				••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	<u> </u>		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				<u>+: -;' · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·</u>		+		
	· · · · ·			2	· · · · ·	[- 1			·		-	verse -	<u>†</u>
]			 								ļ				
Ĺ	• • • • • •		<u></u>	1		<u> </u>		_ <u> </u>		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	<u> </u>		····		Ē
	Je certin	e, en tar	it que premi	er au Miși	eur, qu	ie j'ai vērifić	avec le(s) par	tenaire	(a) qu'ii(s)	ก'a (n'o	ont) pas d'o				
, 1 200	cument		Harris .	14 CUATER	- America - 1997	Cité. Are:	and the second second		n i fall fo Thomas a	- (q. 5	n Anna Shipir Tara Na ƙasar	in the second	engager Professio		égészere a
Ту		distri	bution	Gér	éral		∎: O Oui		9 joints		Si oui, dat	e :			_
Ty 0 0	pe Sommair Rapport Autre	distri e (abst	bution ract) O Technia	Gér	iéral Écrit fl Ó Ind		e: O Oui				Si oui, dat	e :			-
Ty 0 0	pe Sommair Rapport Autre Documen	distri e (abat	bution ract) O Techni Nis pour pi	Gér que	iéral Écrit fl Ó Ind	inal à suivr fustriei de s	e: O Oui service	Not	n			e :			-
Ty 0 0	pe Sommair Rapport Autre Documen	distri e (abat	bution ract) O Techni Nis pour pi	Gér que	iéral Écrit fl Ó Ind	inal à suivr Justriel de s <u>N</u> is prècéd	e : O Oui service emment, veu	Not	n			e :			-
Ty 0 0	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un si IMI A prèse	distri e (abst soun onmair enter da	bution ract) O Technic Dis pour pr el(abstract	Gér µue µblic	iéral Écrit fl Ó Ind ation	inal à suivr fustriel de r nis prècéd CNRC (e: O Oui service emment, veu CNRC	Noi	n diquer les			e :			
Ty 0 0	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un se iMi A prèse le cadre	distri e (abat soun onmair onter da e de :	bution ract) O Technin nis pour pr e (abstract	Gér µue µblic	iéral Écrit fl Ó Ind ation	inal à suivr fustriel de r nis prècéd CNRC (e : O Oui service emment, veu CNRC of the Adhes	Not	n diquer les ciety	3 NUM		e :			
Ty 0 0	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un se iMI MI A prèse le cadre Date o	distri e (abat sound ommain enter da de : de la co	bution ract) O Technic his pour pr clabstract	Gér ublic) a é	iéral Écrit fl Ó Ind ation té sour t Annu	inal à suivr fustriel de s nis prècéd CNRC (curc fu ial Meeting	e : O Oui service emment, veu CNRC of the Adhes	Not	n diquer les	3 NUM		e :			-
	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un se IMI MI A prèse le cadre Date o À parafi	distri e (abat soun ommair ommair emer da e ce : de la co tre dans	bution ract) O Technic Nis pour pr e(abstract ns nférence :	Gér ublic) a é	éral Écrit fl Ó Ind ation té sour t Annu	inal à suivr fustriel de s mis prècéd CNRC (al Meeting rbaux de c	ervice emment, veu DNRC of the Adhes	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s nume 9xas	éros : 	ate:			
Ty O O Stat	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un se iMI A prèse le cadre Date o A param	distri e (abat sound ommain om	bution ract) O Technic is pour pr e (abstract ris riférence : cation	Gér ablic) a é 31s	éral Écrit fl Ó Ind ation té sour t Annu cès-ve	inal à suivr fustriel de s mis prècéd CNRC (al Meeting rbaux de c	ervice emment, veu DNRC of the Adhes	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s nume 9xas	éros : 	ate:		nible	
Tyı ○ ○ ●	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un se IMI A prése le cadre Date o A parafit tuit de j	distri e (abat e (abat sound ommain e de : de la co tre dans it (b) (i t ivre a	bution ract) O Technic is pour pr e(abstract riférence : a cation	Gér ablic) a é 31s Pro	éral Écrit fl Ó Ind ation té sour t Annu cès-ve	inal à suivr fustriel de s mis prècéd CNRC (al Meeting rbaux de c te complété	e : O Oui service emment, veu CNRC of the Adhes onférence	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s nume 9xas	éros : 	ate : [
Stat	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un se IMI A prèse le cadre Date o A parafi tut de j Revue ou Procès-ve	distri e (abat e (abat soum ommain ommain ommain e de : de la co tre dans output i vive a e bal de	bution ract) O Technic is pour pr el(abstract ns riférence : a: cattion	Gér ablic) a é 31s Pro	éral Écrit fl O Ind ation tá sour t Annu cès-ve	inal à suivr lustriel de s nis pràcéd CNRC (al Meeting rbaux de c te complété nité de lect	emment, veu conférence	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s nume 9xas	eros : C Date d publica	ate : [metion; ation	An	inée ce iblicatio	ł.
Stat	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un si iMi A prèse le cadre Date o A parant tut de li Revue ou Procès-vi Procès-vi	distri e (abat e (abat soum ommain ommain ommain e de : de la co tre dans output i vive a e bal de	bution ract) O Technic is pour pr e(abstract riférence : a cation	Gér ablic) a é 31s Pro	éral Écrit fl O Ind ation tá sour t Annu cès-ve	inal à suivr lustriel de s nis pràcéd CNRC (al Meeting rbaux de c te complété nité de lect	emment, veu conférence	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s nume 9xas	eros : D Polici finito Date d	ate : [metion; ation	An	inée ca	ł.
	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un se IMI A prèse le cadre Date o A parafi tut de j Revue ou Procès-ve	distri e (abat e (abat sound on mair on mair on mair on mair e da e ta a co tre dans outpilion o tre dans outpilion outp	bution ract) O Technic is pour pr el(abstract ns riférence : a: cattion	Gér ablic) a é 31s Pro	éral Écrit fl O Ind ation tá sour t Annu cès-ve	inal à suivr lustriel de s nis prècéd CNRC (al Meeting rbaux de c te complété nité de lect	emment, veu conférence	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s nume 9xas	eros : C Date d publica	ate : [metion; ation	An	inée ce iblicatio	ł.
	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un se IMI A prèse le cadre Date d A parafi tuit de j Revue ou Procès-ve Autre aru dans (v	distri e (abat e (abat source) enter da e de : de la co tre dans e da source) i vre a e bal de e bal de ol. pp)	bution ract) O Technic is pour pr el(abstract ns riférence : a conférence conférence	Gér ablic) a é Pro de e 	éral Écrit fl Ó Ind ation té sour t Annu cès-ve ec con ns con	Inal à suivr fustriel de s Dis prècéd CNRC (al Meeting rbaux de c te complété nité de lect	ervice emment, veu CNRC of the Adhes onférence	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s num exas	eros : Date d publica 2008-0;	ate : [mailon: ation: ation: 2-17	An	inée ce iblicatio	ł.
	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un se IMI A prèse le cadre Date o A parafit tut de J Revue ou Procès-ve Autre uru dans (v	distri e (abat e (abat source) enter da e de : de la co tre dans e da source) i vre a e bal de e bal de ol. pp)	bution ract) O Technic is pour pr el(abstract ns riférence : a: cattion	Gér ablic) a é 31s Pro	iéral Écrit fi O Ind ation té sour t Annu cès-ve ec con ns con	inal à suivr fustriel de s nis prècéd CNRC (al Meeting rbaux de c te complété nité de lect nité de lect	e : O Oui service emment, veu CNRC of the Adhes onférence	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr aumez l'ac	s nume 9xas	eros : Date d publica 2008-0;	ate : [metion. e ston 2-17	An pu	inée ca iblicatio 2008	ł.
	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un se iMI A prèse le cadre Date o Date o A parafi tut de j Revue ou Procès-ve Autre ru dans (v rtenaires ;	distri e (abat e (abat sound on mair on mair on mair on mair e (abat de : de : de : de : de : de : de : de :	bution ract) O Technik Dis pour press (abstract (abstract) (abstra	Gér ablic) a é 31s Pro	éral Écrit fi O Ind ation té sour t Annu cès-ve ec con ns con	inal à suivr fustriel de s mis pròcéd CNRC (al Meeting rbaux de c te complété nité de lect	a : O Oui service emment, veu DNRC of the Adhes L onférence	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr aumez l'ac	s num exas	eros : D Date d public: 2008-0;	ate : [mation : etcon	An pu	inée ca iblicatio 2008	ł.
Tyl ○ ○ ○ Stat ⊠ □ Pa Pa Dé	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un se iMI A prèse le cadre Date d A parant tut de ci Procès-ve Autre aru dans (v rtenaires : claration d	distri e (abat e (abat) e (abat) e (abat e (abat) e (abat)) e ((abat)) e (abat)) e ((abat)) e ((abat))) e ((abat)) e ((abat))) e ((ab	bution ract) O Technic D Technic (abstract (abstract) (abstr	Gér ablic) a é 31s Pro	éral Écrit fl Ó Ind ation té sour t Annu té sour t Annu cès-ve ec con ns con	Inal à suivr fustriel de s Inis prècéd CNRC (Inis Meeting rbaux de c tra complété nité de lect nité de lect Motors Date	e : O Oui service emment, veu CNRC of the Adhes onférence ure ure ure	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr aumez l'ac	s num exas	eros : D Date d public: 2008-0;	ate : [mation : etcon	An pu	inée ca iblicatio 2008	ł.
Ty O O O O O O O O O O O O O O O O O O O	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un si iMI (A prèse le cadre Date o A parafit Ut de J Revue ou Procès-vi Autre uru dans (v rtenaires : ciaration d mande de	distri e (abat e (abat soum on mair on mair on mair on de : de la co re dans de la co re dans de bal de ol. pp) inventi orevet	bution ract) O Technic D Technic (abstract (abstract) (abstr	Gér ablic) a é 31s (Pro	éral Écrit fi O Ind ation té sour t Annu té sour t t Annu té sour t t Annu té sour t t Annu té sour t t t Annu té sour t t t t t t t t t t t t t t t t t t t	Inal à suivr fustriel de s CNRC (CNRC (al Meeting rbaux de c tercomplèté nité de lect nité de lect Motors Date Pays	e : O Oui service emment, veu CNRC of the Adhes onférence ture ure ure	Noi Noi Noi Noi Noi Noi Noi Noi Noi Noi	n diquer les ciety Austin, Tr aumez l'ac	s num exas	eros : D Date d public: 2008-0;	ate : [mation : etcon	An pu	inée ca iblicatio 2008	ł.
Tyl ○ ○ ○ Stat □ □ Pa Pa Pa Dei Sir	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un se IMI A prèse le cadre Date o Date o A parafit Eutre Procès-ve Autre I Revue ou Procès-ve Autre u dans (v res infe- trenaires : ciaration de mande de non, explici	distri e (abat e (abat sound ommain e de : de la co re dans de la co re dans de bal de obal de obal de obal de obal de obal de sobal de sobal de sobal de sobal de sobal de	bution ract) O Technic Nis pour pre- e (abstract ins riférence : a: conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence	Gér ablic a de 31s Pro se se se se se se se se se se se se se se s	éral Écrit fi Ó Ind ation té sour t Annu cès-ve ec con ns con secture ec con ns con	Inal à suivr Iustriel de s CNRC (CNRC (al Meeting rbaux de c rbaux de c rba	errice emment, veu CNRC of the Adhes onférence ture ure e:	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s num sxas	Date d public: 2008-0;	ate : [mation : etcon	An pu	inée ca iblicatio 2008	ł.
Tyl ○ ○ ○ Stat □ □ Pa Pa Pa Dei Sir	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un si iMI (A prèse le cadre Date o A parafit Ut de J Revue ou Procès-vi Autre uru dans (v rtenaires : ciaration d mande de	distri e (abat e (abat sound ommain e de : de la co re dans de la co re dans de bal de obal de obal de obal de obal de obal de sobal de sobal de sobal de sobal de sobal de	bution ract) O Technic Nis pour pre- e (abstract ins riférence : a: conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence conférence	Gér ablic) a é 31s (Pro	éral Écrit fi Ó Ind ation té sour t Annu cès-ve ec con ns con secture ec con ns con	Inal à suivr fustriel de s CNRC (CNRC (al Meeting rbaux de c tercomplété nité de lect nité de lect Motors Date Pays	errice emment, veu CNRC of the Adhes onférence ture ure e:	Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor Nor	n diquer les ciety Austin, Tr	s num sxas	Date d public: 2008-0;	ate : [mation] at on 2-17	An	inée ce iblicatio 2008	ł.
Tyl ○ ○ ○ Stat □ □ Pa Pa Pa Dei Sir	pe Sommair Rapport Autre Documen Si un se iMI A prèse le cadre Date o Date o A parafi tut de j Revue ou Procès-ve Autre ru dans (v rtenaires ; claration de mande de non, explic Cbatie	distri e (abat source on main e de : de la co re dans de la co re dans de bal de solal de sol	bution ract) O Technic is pour pre e (abstract is conférence : conférence : conférence conférence conférence conférence conférence	Gér alue Ja e 31s de se se se se se se	éral Écrit fi Ó Ind ation té sour t Annu cès-ve ec con ns con secture ec con ns con	Inal à suivr fustriel de s CNRC (al Meeting rbaux de c ter complété nité de lect nité de lect Motors Date Pays antable res	e : O Oui service emment, veu CNRC of the Adhes onférence ure ure ure : : : : : :	Notifilez int	n diquer les ciety Austin, Tr aumez l'au	s num sxas	Date d public: 2008-0;	ate : [mation] at on 2-17	An pu	inée ce iblicatio 2008	ł.
Tyl ○ ○ ○ Stat □ □ Pa Pa Pa Dei Sir	pe Sommain Rapport Autre Documen Si un se IMI A prèse le cadre Date d A paran tut de cadre Procès-ve Procès-ve Procès-ve Autre au dans (v rtenaires : ciaration d mande de non, explice	distri e (abat source on main e de : de la co re dans de la co re dans de bal de solal de sol	bution ract) O Technic is pour pre e (abstract is conférence : conférence : conférence conférence conférence conférence conférence	Gér ablic a de 31s Pro se se se se se se se se se se se se se se s	éral Écrit fi Ó Ind ation té sour t Annu cès-ve ec con ns con secture ec con ns con	inal à suivr fustriel de s mis pròcéd CNRC (al Meeting rbaux de c recomplés nité de lect nité de lect Motors Date Pays entable res	errice emment, veu CNRC of the Adhes onférence ture ure e:	Notifilez int	n diquer les ciety Austin, Tr		Date d public: 2008-0;	ate : [mition : ation : ation :	An	inée ce bilcatic 2008	ł.

NRC CNRC

Aluminium Technology Centre

Numerical evaluation of strain energy release rate in adhesive joints

M. Eskandarian, G. D'Amours, M. Papini and J.K. Spelt

2008 Annual Meeting of The Adhesion Society, Austin, TX 17-21 February 2008

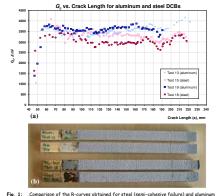
Abstract

A generalized engineering approach to fracture load predictions for adhesive joints has been already presented in Refs. [1] and [2]. The approach is based on the premise that the strength of any adhesive system can be characterized by an experimentally measured fracture envelope, which is the variation of critical strain energy release rate, \mathcal{S}_{c} as a function of loading mode (mode ratio). The results of quasi-static fracture tests on double-cantilever-beam (DCB), cracked-lap-shear (GLS) and single-lap-shear (SLS) joints made of adhesive joints.

In the present work, a series of finite element models (ANSYS / LS-Dyna) were used to calculate the strain energy release, \mathcal{G} , as a function of loading mode for a variety of adhesive joints. The adhesive was modeled as a rate-independent plasticelastic material, while elastic behavior was assumed for the adherends. The critical energy release rate in adhesive joints was evaluated on the basis of adhesive bulk material properties. The effects of geometry and substrate material were also studied by comparing the $\mathcal{G}_{\rm values}$, the stress fields and the strain rates in the adhesive layers of alumirum and steel DCB, CLS and SLS joints. Comparisons are made between analytical an numerical predictions of $\mathcal{G}_{\rm c}$.

Introduction

Recent results of quasi-static fracture tests on DCB specimens made of aluminum and steel revealed that Gc appeared to depend on the substrate material but not on adherends thickness. The average value of the measured energy release rate for steel DCB was almost 8% lower than for aluminum DCB as shown in Fig. 1a. The mismatch of the R-curves of the adhesive systems were initially supposed to be subsequent of the differences in operator readings, the strain rates in adhesive layers, the degrees of interfacial depending the stress field around crack tip and perhaps the size of damage zone ahead of crack. The failure of aluminum adhesive joints was totally cohesive while some signs of local interfacial debonding was observed for steel DCBs. Fig. 1b. In order to minimize the operator interference, the testing machine was programmed to automatically detect the crack propagation in adhesive joint from the variation of joint compliance. The main objective of current research was to conduct a series of finite element simulations for evaluating the effects of other potential influencing parameters such as strain rate in adhesive layer stress field ahead of crack and the degree of triaxiality in stress field providing higher constraint in the adhesive layer of steel joints. The concept of change in strain energy was also implemented to compare the Gc values of both adhesive systems



DCB specimens (bars thickness 12.7 mm, width 18 mm, bondline 0.4 mm).

Results and discussions

a) Strain rate in adhesive layer – 2D FE models

The adhesive joints made of aluminum bars bonded by a heat-cured toughened epoxy adhesive were modeled through a series of 2-dimensional finite elements simulations by using ANSYS software. The adhesive was a toughened heat-cured epoxy used in automotive industry with apparent rate-dependent behavior. It was however modeled as a rate-independent plastic-elastic material for simplicity. The first series of FE analyses have been conducted in arder to validate this assumption and also to compare the adhesive strain rates for the aluminum and steel DCBs. The results revealed that the strain rate in the bondline of steel DCBs close to crack tip were almost two times higher than the similar value for aluminum DCBs. The variations of adhesive strain rate with crack length for the simulations done at mode-I & -II, and the mode ratio of 51 dea, are shown in Fia 2.

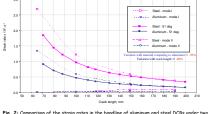


Fig. 2: Comparison of the strain rates in the bondline of aluminum and steel DCBs under two loading conditions (mode-I & -II and the mode ratio of 51°). Pin-displacement-rate 1.5 mm/min, Total time 300 s.At = 15 s.

As it is shown in Fig. 2, there is also another significant variation of strain rate with crack length for each material, which did not affect the plateau region of Rcurves. It means that different strain rates could not be considered as the main reason for having the substrate material dependency in adhesive joints. In order to eliminate the potential influence of strain rate on the experimental measurements, the DCB tests were performed at constant load rate of 10 N/s rather than conventional test under constant crosshead speed. For the QLS and SLS tests, on the other side, the crosshead speeds were calculated to give similar strain rates in the bondline of DCB and QLS or SLS speciment tested at similar mode ratios.

b) Stress field ahead of crack tip – 2D models

In the next series of 2D FE simulations, the stress field in the bondline of aluminum and steel DCBs were compared. The specimen pins were loaded through a constant-displacement-rate simulation up to the time when the opening stress in the adhesive elements, close to crack tip, has been reached to the ultimate strength of adhesive (45 MPa) measured by the bulk adhesive tests. In order to validate this procedure, the pin openings at such positions were compared with the experimental values measured in the quasi-static tests on DCB samples. Good agreements were found between the simulation and the experimental values. The adhesive eleming stress and its variation with x-coordinate (along the bars) are compared in Fig. 3 for the steel and aluminum DCB samples having similar geometries. The opening and von-Mises stresses in a shorter value of time-to-fracture (90 rather than 200 sec., respectively). This difference however cannot be considered as the main reason of having lower value of \mathcal{G}_c for steel as it has an inverse effect on \mathcal{G}_o i.e. the energy release rate increases when the value of bondline stresses are higher.

Similar simulations have been carried out on thicker aluminum DCB to evaluate the stiffness effects on 6c, where no significant differences were observed in the value of energy release rates measured from simulation or from quasi-static tests on DCBs made of both materials, Fig. 4. This means that the stiffness of adhesive joins has no significant effect on adhesive bondline stresses.

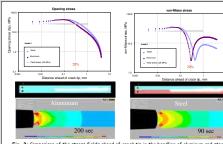


Fig. 3: Comparison of the stress fields ahead of crack tip in the bondline of aluminum and steel DCBs having similar geometries

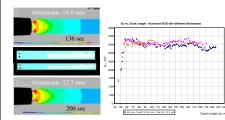


Fig. 4: Comparison of the adhesive stress fields and the experimental measurements of G_c for aluminum DCBs having different thicknesses.

c) Constraint in adhesive layer - 3D models

The degree of triaxiality in adhesive layers of aluminum and steel DCBs was investigated by conducting a series of 3D FE simulations on half on DCB samples by using LS-Dyma software. The half specimen geometry, the singular elements used to represent the crack tip, and the von-Mises stress field in adhesive layer are typically demonstrated in Fia.5.

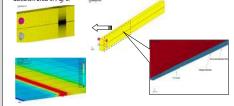
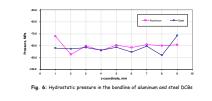


Fig. 5: Geometry, mesh, singular elements and the contours of von-Mises stress in the bondline,

The hydrostatic pressure across the bondline was determined from result files, which shows a minor difference of 2% for the average bondline pressure. Higher absolute value and then higher degree of triaxiality was corresponded to steel DCB as shown in Fig. 6.



d) Energy release calculations – 3D models

In the next series of 3D FE simulations, the critical energy release rate \mathcal{E}_{c} was calculated from the total strain energy of parts during a finite crack propagation by using the following formula. $G_{c} = -\frac{U_{cut}-U_{cu}}{hhn}$

Where a denotes crack length, $_{\Delta}$ the finite crack propagation, U_{α} the strain energy when the crack length of a, $U_{a,\Delta}$ similar term at crack length of a+ Δa , and b is the with of DCB joint. For \mathcal{G}_c calculations, the model was firstly run at crack length of a to the time when the adhesive von-Mises stress meets its ultimate value (45 MPa). The total strain energy of all parts was then calculated. In the second run, the gradual displacements were applied to pins up to the time when the pin opening was the same as in the previous run. The second value of strain energy was then calculated and the difference represents the critical strain energy was then calculated and the measured values of \mathcal{G}_c for aluminum and steel DCBs as shown in Fig. 7.

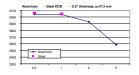


Fig. 8: Energy release rate in aluminum and steel DCBs at various crack advancements

Conclusions

The FE simulations on various adhesive joints have been developed in order to investigate the effects of substrate material on the fracture behavior of adhesive joints. The energy calculations on the basis of the change in strain energy of parts were very sensitive to parts movement but represents a non-significant difference in \mathcal{E}_{v} values calculated for aluminum and steel DCBs. The experimental difference in R-curves of those adhesive systems could be corresponded to different surface preparation procedures and the quality of debonded surfaces.

Acknowledgments

The authors wish to acknowledge General Motors of Canada, the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, Ontario Centers of Excellence, and the Aluminum Technology Centre of the National Research Council Canada for their financial and technical supports.

References

 G. Fernlund, M. Papini, D. McCammond and J.K. Spelt, Fracture load predictions for adhesive joints, Compos. Sci. Technol., vol. 51, 587 (1994).

[2] M. Papini, G. Fernlund and J.K. Spelt, Effect of crack-growth mechanism on the prediction of fracture load of adhesive joints, Compos. Sci. Technol., vol. 52, 561 (1994).

Authors' addresses

 M. Eskandarian and G. D'Amours Aluminium Technology Centre, Industrial Materials Institute, National Research Council Canada (ATC/IMI/NRC) 501 boul, de' Université, Chicoutimi (Québec), Canada 67H 8C3

SOI Boui, de l'Université, chicoutimi (Quebec), canada 6/H 8c3

 M. Papini Department of Mechanical and Industrial Engineering, Ryerson University 350 Victoria Street, Toronto, Ontario, Canada M5B 2K3

3) J.K. Spelt Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto 5 King's College Road, Toronto, Ontario, Canada M55 368

