

DIN EN 16603-32-01

ICS 49.140

Ersatz für
DIN EN 14165:2005-02**Raumfahrttechnik –
Überwachung des Rissfortschritts;
Englische Fassung EN 16603-32-01:2014**Space engineering –
Fracture control;
English version EN 16603-32-01:2014Ingénierie spatiale –
Maîtrise de la rupture;
Version anglaise EN 16603-32-01:2014

Gesamtumfang 92 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16603-32-01:2014) wurde vom Technischen Komitee CEN/CLC/TC 5 „Raumfahrt“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-10-01 AA „Interoperabilität von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Dieses Dokument ersetzt DIN EN 14165:2005-02.

Dieses Dokument wurde speziell zur Behandlung von Raumfahrtsystemen erarbeitet und hat daher Vorrang vor jeglicher Europäischer Norm, da es denselben Anwendungsbereich hat, jedoch über einen größeren Geltungsbereich (z. B. Luft- und Raumfahrt) verfügt.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14165:2005-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm-Nummer geändert;
- b) Norm redaktionell geändert.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14165: 2005-02

Nationaler Anhang NA (informativ)

Begriffe und Abkürzungen

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe aus anderen Normen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ECCSS-ST-00-01 und die folgenden Begriffe.

Kunde

ANMERKUNG In dieser Norm stellt der Kunde den für die Überwachung des Rissfortschritts Verantwortlichen oder die Sicherheitsbehörde dar.

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ECSS-E-ST-10-03.

Abnahmetest

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ECSS-E-ST-32.

Fehler

ANMERKUNG Der Begriff Defekt wird synonym verwendet.

größter Bemessungsdruck (MDP, en: maximum design pressure)

Lebensdauer

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ECSS-E-ST-32-02.

Berstdruck

Behälter für gefährliches Fluid

Undichtheit vor dem Bersten (LBB, en: leak before burst)

Druckbauteil

Druckbehälter

druckbeaufschlagte Struktur

geschlossener Behälter

spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung

Schwellenwert für sichtbare Beschädigung, (VDT, en: visual damage threshold)

ANMERKUNG 1 Bei einer typischen Anwendung einer dünnwandigen Verbundstruktur, ist der VDT manchmal definiert als die Stoßenergie eines Stoßkörpers mit einer halbkugelförmigen Spitze von 16 mm Durchmesser, die nach einer ausreichend langen Zeit bis zur möglichen Entstehung eines Eindrucks im Lauf der Zeit eine bleibende Oberflächendurchbiegung von mindestens 0,3 mm zwischen Stoß und Untersuchung verursacht (z. B. aufgrund von Alterung in feuchter Atmosphäre, Dauerbeanspruchung, Viskoelastizität des Harzes).

ANMERKUNG 2 Die Bestimmung des nach ausreichend langer Zeit auf einer bleibenden Oberflächendurchbiegung von 0,3 mm (siehe ANMERKUNG 1) basierenden VDT kann zeitaufwändig sein. Daher werden zur Bestimmung des VDT manchmal Tests durchgeführt, die eine mechanische Beschädigung verursachen, die einer Durchbiegung von mindestens 1 mm unmittelbar nach dem Stoß entspricht.

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ECSS-Q-ST-40.

extreme (katastrophale) Gefährdung

kritische Gefährdung

3.2 Für diese Norm spezifische Begriffe

3.2.1

aggressive Umgebung

jede Kombination von einer Temperatur und flüssigen oder gasförmigen Stoffen, die das statische Risswachstum oder das Risswachstum durch Ermüdung gegenüber dem „normalen“ Verhalten bei Umgebungstemperatur im Labor verändert

3.2.2

analytische Lebensdauer

analytisch bewertete Lebensdauer, wie durch Analyse des Risswachstums oder Ermüdungsanalyse

3.2.3

extreme (katastrophale) Gefährdung

für andere Nutzlasten als NASA-STS oder ISS siehe ECSS-Q-ST-40B

3.2.4

extreme (katastrophale) Gefährdung

für Nutzlasten von NASA-STS oder ISS mögliche Risikosituation, die zu dauerhafter Behinderung oder lebensgefährlichen Verletzungen, zum Verlust eines NASA-Orbiters, ISS, von Bodeneinrichtungen oder STS/ISS-Einrichtungen führen kann

[NSTS 1700.7 (einschließlich ISS-Ergänzung), Absatz 302]

3.2.5

genaue Sichtprüfung

in unmittelbarer Nähe intensive visuelle Untersuchung der Innen- und Außenflächen einer Struktur, einschließlich struktureller Details, oder von Einbaustellen, auf Anzeichen von Stoßbeschädigungen, Fehlern und anderen Oberflächendefekten

ANMERKUNG Die Leistungsfähigkeit der Untersuchung wird durch die Messung der Oberflächendurchbiegung (Eindringtiefe) bewertet. Die genaue Sichtprüfung gilt als zuverlässig beim Feststellen einer Durchbiegung, die größer ist als der Schwellenwert für eine sichtbare Beschädigung(VDT).

3.2.6

Einkapselung

Designprinzip der Beschädigungstoleranz, das beim Ausfall eines Bauteils die Ausbreitung der Auswirkungen eines Fehlers über die Behältergrenzen hinaus verhindert

ANMERKUNG 1 Ein eingekapseltes Bauteil gilt nicht als PFCI, außer dessen Freisetzung kann zu einer Gefährdung im Behälterinneren führen. Der Behälter ist ein PFCI und dessen konstruktive Unversehrtheit nach dem Stoß wird als Teil der Aktivitäten zur Überwachung des Rissfortschritts verifiziert.

ANMERKUNG 2 In dieser Norm umfasst der Begriff Behälter in den meisten Fällen Gegenstände, die z. B. durch einen Haltegurt zurückgehalten werden, um gefährliche Ereignisse aufgrund des Versagens des Gegenstandes zu verhindern.

3.2.7**rissartiger Fehler**

Fehler, der das gleiche mechanische Verhalten wie ein Riss aufweist

ANMERKUNG 1 „Riss“ und „rissartiger Fehler“ werden in dieser Norm als Synonym betrachtet.

ANMERKUNG 2 Rissartige Fehler können beispielsweise bei der Herstellung, Fertigung oder Prüfung des Materials verursacht werden oder sich während der Nutzung des Bauteils entwickelt haben.

ANMERKUNG 3 Der Begriff „rissartiger Fehler“ kann einschließen:

- bei metallischen Materialien: Fehler, Einschlüsse, Poren und ähnliche Defekte;
- bei nichtmetallischen Materialien: Haftfehler, gebrochene Fasern, Delamination, Stoßschäden und andere materialspezifische Defekte.

3.2.8**Risslängenverhältnis**

alc

bei einem Anriss das Verhältnis der Risstiefe zur halben Risslänge

3.2.9**Risslängenverhältnis**

alc

bei einem Anriss in der Ecke das Verhältnis der Risstiefe zur Risslänge

3.2.10**Geschwindigkeit des Risswachstums**

Geschwindigkeit der Änderung der Rissabmessung als Funktion der Lastwechselzahl oder der Zeit

ANMERKUNG Beispielsweise da/dN , dc/dN , da/dt and dc/dt .

3.2.11**Verzögerung des Risswachstums**

Verringerung der Geschwindigkeit des Risswachstums aufgrund vorübergehender Überlastung des gerissenen Bauteils

3.2.12**kritische Rissgröße**

Rissgröße, bei der die Struktur unter der maximal festgelegten Belastung versagt

ANMERKUNG Die maximal festgelegte Belastung ist in vielen Fällen die Grenzbelastung, jedoch manchmal größer als die Grenzbelastung (z. B. bei festgestellten Fehlern, Verbundwerkstoffen und Glasgegenständen)

3.2.13**kritischer Anfangsfehler**

CID

kritische (z. B. maximale) Anfangsrissgröße, bei der die Struktur die festgelegte Anzahl von Laufzeiten überstehen kann

3.2.14**kritischer Spannungsintensitätsfaktor**

Wert des Spannungsintensitätsfaktors an der Spitze eines Risses, bei dem ein ungleichmäßiges Fortschreiten eines Risses festzustellen ist

ANMERKUNG 1 Dieser Wert wird auch als Bruchzähigkeit bezeichnet. Der Kennwert K_{IC} ist die Bruchzähigkeit bei ebener Beanspruchung und eine dem Material eigene Eigenschaft. Bei anderen Spannungszuständen wird sie mit K_C bezeichnet. Bei Analysen der Bruchmechanik wird ein unmittelbar bevorstehender Ausfall angenommen, wenn der angesetzte Spannungsintensitätsfaktor seinen kritischen Wert, d. h. die Bruchzähigkeit, erreicht oder überschreitet. Siehe 3.2.25.

ANMERKUNG 2 Der Begriff Bruchzähigkeit wird synonym verwendet.

3.2.15

Wechselbeanspruchung

veränderliche Beanspruchung (oder veränderlicher Druck), die (der) durch die relative Größe von Belastung und Entlastung einer Struktur gekennzeichnet ist

ANMERKUNG Beispiele dafür sind Belastungen aufgrund des Einschwingverhaltens, schwingungsakustische Erregung, Vibrieren, Druckzyklen und schwingende oder sich hin- und herbewegende mechanische Teile.

3.2.16

Schwellenwert der Dehnung für die Beschädigungstoleranz

Höchstmaß der Beanspruchung von Verbundstrukturen, bei dessen Unterschreiten die mit den Größen zusammenhängende Beschädigung, die durch zerstörungsfreie Prüfung (NDI, en: non-destructive inspection), spezielle Sichtprüfung, Bewertung der Gefahr durch eine Beschädigung oder durch vorgegebene Mindestgrößen bei 10^6 Zyklen (10^8 Zyklen bei rotierender maschineller Ausrüstung) festgestellt wurde, bei einem der Anwendung entsprechenden Lastverhältnis nicht wächst.

ANMERKUNG 1 Die Beanspruchung ist der größte Absolutwert der Belastung in einem Lastzyklus.

ANMERKUNG 2 Der Schwellenwert der Dehnung für die Beschädigungstoleranz ist abhängig von der Materialart sowie vom Verstärkungsmaterial und wird aus den Testdaten in der Designumgebung für den geltenden oder ungünstigsten Typ und für die Ausrichtung von Spannung und Fehler für ein bestimmtes Design und eine bestimmte Fehlergröße bestimmt (z. B. die durch die VDT bestimmte Größe).

3.2.17

Beschädigungstoleranz

Merkmal einer Struktur, bei der der Umfang der allgemeinen Beschädigung oder die Größe und Verteilung örtlicher Fehler, die während des Betriebs erwartet werden, oder beide nicht zu einer strukturellen Verschlechterung bis unter die festgelegte Leistungsgrenze führen

3.2.18

Defekt

siehe „Fehler“ (3.1)

3.2.19

festgestellter Fehler

Fehler, der bekanntermaßen im Bauteil vorhanden ist

3.2.20

Fail safe

Ausfallsicherheit

Designprinzip der Beschädigungstoleranz von Strukturen, bei dem eine Struktur durch Redundanz sicherstellt, dass ein Ausfall eines Elements keinen generellen Ausfall der gesamten Struktur während der verbleibenden Lebensdauer verursacht

3.2.21

Verbindungselement

Element zur Verbindung von Bauteilen und Übertragung von Lasten zwischen ihnen über einen Verbinder (siehe 3.1.23)

3.2.22

Ermüdung

Gesamtheit der durch Wechselbeanspruchung verursachten irreversiblen Schäden an Material und Strukturen

ANMERKUNG 1 Ermüdung kann Risse auslösen und erweitern, die dann die Festigkeit von Material und Struktur herabsetzen.

ANMERKUNG 2 Beispiele für das Ermüdungsverhalten von das Material beeinflussenden Faktoren sind die Umgebung, Oberflächenbeschaffenheit und Bauteilabmessungen.

3.2.23**rissgefährdetes Bauteil**

Bauteil, das als rissgefährdet eingestuft wurde

3.2.24**Bauteil mit durch Riss begrenzter Lebensdauer**

Bauteil, das zur Erfüllung der Anforderungen an die Rissfortschrittsüberwachung eine regelmäßige Überprüfung oder Ersatz erfordert

3.2.25**Bruchzähigkeit**

Materialbeständigkeit gegen die instabile Ausbreitung eines Risses

ANMERKUNG Siehe kritischer Spannungsintensitätsfaktor, 3.2.14.

3.2.26**Anfangsrissgröße**

größter durch zerstörungsfreie Untersuchung bestimmter Riss, der für eine bruchmechanische Bewertung angenommen wird

3.2.27**Verbinder**

Element zur Verbindung von Bauteilen und Übertragung von Lasten zwischen diesen

3.2.28**Lastverstärkungs-Index****LEF**

Faktor, der auf das Belastungsspektrum der Ermüdungstests anzuwenden ist, um mit den Tests eine festgelegte Zuverlässigkeit und Sicherheit nachzuweisen

ANMERKUNG 1 Der LEF hängt von Material oder Struktur, der Anzahl der zu prüfenden Bauteile und der Dauer der Tests ab.

ANMERKUNG 2 DBK-17F, Vol. 3, 7.6.3, enthält einen Ansatz zur Berechnung des LEF für Verbundstrukturen.

3.2.29**Lastfall**

Bedingung, Ereignis, Umgebung oder Missionsphase, der/dem das Struktursystem ausgesetzt wird und die/das Lasten in der Struktur verursacht

3.2.30**Belastungsspektrum**

Darstellung der gesamten statischen und dynamischen Beanspruchungen, die für ein Bauteil während dessen Einsatzdauer erwartet werden

ANMERKUNG Das Belastungsspektrum wird auch mit Belastungsverlauf bezeichnet.

3.2.31**mechanische Beschädigung**

eingebrachter Fehler in einem Bauteil aus Verbundwerkstoff, der durch äußere Einflüsse verursacht wird, wie z. B. Oberflächenabnutzung, Schnitte oder Stöße

3.2.32**möglicherweise rissgefährdetes Bauteil****PFCI**

Bauteil, bei dem das Entstehen oder Fortschreiten von Rissen in Strukturelementen während der Lebensdauer zu einer extremen oder kritischen Gefährdung führen oder katastrophale gefährliche Folgen für NASA-STS/ISS haben kann.

ANMERKUNG Druckbehälter und rotierende maschinelle Ausrüstung werden immer als PFCI angesehen. Sie Bild 5.1.

3.2.33

R-Verhältnis

Verhältnis der kleinsten zur größten Spannung

3.2.34

Eigenspannung

in der Struktur vorhandene Spannung infolge der Verarbeitung des Materials, der Herstellung oder früherer Belastung

3.2.35

rotierende maschinelle Ausrüstung

rotierende mechanische Bauteile mit einer kinetischen Energie von mindestens 19 300 J oder mit einem Drehmoment von mindestens 136 Nms

ANMERKUNG Der Wert der kinetischen Energie basiert auf $0,5 I \omega^2$; dabei ist I das Trägheitsmoment, in kg/m^2 , und ω die Winkelgeschwindigkeit, in rad/s .

3.2.36

Safe life

sichere Lebensdauer

Designprinzip bei der Überwachung des Rissfortschritts, bei dem der größte unerkannte Riss in einem Bauteil nicht zu einem Ausfall führen darf, wenn das Teil einer Wechsel- oder Dauerbelastung in der während der Einsatzdauer vorliegenden Umgebung ausgesetzt wird

3.2.37

besondere NDI-Verfahren

NDI-Verfahren, mit denen Risse oder rissartige Fehler festgestellt werden können, die kleiner sind als Risse, die mit normalen NDI-Verfahren feststellbar sind, oder die nicht die Anforderungen an normale NDI-Verfahren erfüllen

ANMERKUNG 1 Siehe 10.4.2.1 und 10.4.3.

ANMERKUNG 2 Besondere NDI-Verfahren sind nicht beschränkt auf fluoreszierende Eindringprüfung, Röntgen-, Ultraschall-, Wirbelstrom- und Magnetpulverprüfungen. Siehe auch 10.4.2.2.

3.2.38

genormte NDI-Verfahren

NDI-Verfahren an metallischen Materialien, für die das erforderliche statistisch basierte Fehlernachweisvermögen nachgewiesen wurde; siehe Tabelle 10.1

ANMERKUNG 1 Siehe 10.4.2.1 und 10.4.3 für genormte NDI-Verfahren.

ANMERKUNG 2 Siehe 10.4.2.1e für das erforderliche statistisch basierte Fehlernachweisvermögen.

ANMERKUNG 3 Einschränkungen zur Anwendbarkeit von genormten NDI-Verfahren auf röntgenographische NDI-Verfahren können 10.4.2.1f und 10.4.2.1g entnommen werden.

ANMERKUNG 4 Die in diesem Dokument in Bezug genommenen genormten NDI-Verfahren sind auf fluoreszierende Eindringprüfung, Röntgen-, Ultraschall-, Wirbelstrom- und Magnetpulverprüfung begrenzt.

3.2.39

Spannungsrissskorrosion (SCC)

Entstehung oder Fortschreiten eines Risses oder beides infolge des gleichzeitigen Einwirkens von Dauerspannungen, Materialeigenschaften und einer aggressiven Umgebung

ANMERKUNG Der größte Wert des Spannungsintensitätsfaktors für ein gegebenes Material, bei dem kein durch Umwelteinflüsse induziertes Risswachstum bei Dauerspannung für die festgelegte Umgebung auftritt ist K_{ISCC} .

3.2.40**Spannungsintensitätsfaktor** K

in der Bruchmechanik verwendete Rechengröße als Maß der Intensität des Spannungsfeldes an der Spitze eines idealen Risses

ANMERKUNG Wird für eine bestimmte Rissgröße, einwirkende Spannung und Bauteilgeometrie berechnet. Siehe 3.2.14.

3.2.41**Schwellenwert des Bereichs der Spannungsintensität** ΔK_{th}

Bereich der Spannungsintensität, unterhalb dessen bei Wechselbeanspruchung kein Risswachstum auftritt

3.2.42**veränderliches Amplitudenspektrum**

Belastungsspektrum oder -verlauf, dessen Amplitude sich zeitlich ändert

3.3 Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Abkürzungen nach ECSS-S-ST-00-01 und die folgenden Abkürzungen.

Abkürzung	Bedeutung	
a/c	Risslängenverhältnis (siehe 3.2.8)	(en: crack aspect ratio)
AR	Abnahmereview	(en: acceptance review)
ASME	Berufsverband der Maschinenbauingenieure in den USA	(en: American Society of Mechanical Engineers)
ASTM	Amerikanische Gesellschaft für Materialprüfung	(en: American Society for Testing and Materials)
BS	Britische Norm	(en: British Standard)
CDR	Kritisches Design-Review	(en: critical design review)
CID	Kritischer Anfangsriss	(en: critical initial defect)
COPV	Druckbehälter mit Verbundwerkstoff-Umwicklung	(en: composite overwrapped pressure vessel)
DOT	Verkehrsministerium der Vereinten Staaten	(en: United States Department of Transportation)
DRD	Definition der Anforderungen an Dokumente	(en: document requirement definition)
EN	Europäische Norm	(en: European Standard)
EPFM	Elastisch-plastische Bruchmechanik	(en: elastic-plastic fracture mechanics)
ESA	Europäische Weltraumorganisation	(en: European Space Agency)
FAD	Schema für das Fehler-Assessment	(en: failure assessment diagram)
FCI	Rissgefährdetes Bauteil	(en: fracture critical item)
FCIL	Liste rissgefährdeter Bauteile	(en: fracture critical item list)
FE	Finite Element	(en: finite element)
FLLIL	Liste der Bauteile mit durch Riss begrenzter Lebensdauer	(en: fracture-limited life items list)
FOD	Fremdkörper	(en: foreign object debris)
F_{ty}	Bemessungswert der Streckgrenze	(en: design tensile yield strength)
F_{tu}	Bemessungswert der Bruchfestigkeit	(en: design tensile ultimate strength)
GSE	Bodengeräte	(en: ground support equipment)

Abkürzung	Bedeutung	
ISO	Internationale Organisation für Normung	(en: International Organisation for Standardisation)
ISS	Internationale Raumstation	(en: International Space Station)
<i>J-R-curve</i>	Risswiderstandskurve unter Anwendung des <i>J</i> -Integral-Konzepts	(en: resistance curve based on J-Integral)
<i>K-R-curve</i>	Risswiderstandskurve unter Anwendung des Spannungsintensitätsfaktors <i>K</i>	(en: resistance curve based on stress intensity factor <i>K</i>)
LBB	Undichtheit vor dem Bersten	(en: leak before burst)
LEF	Lastverstärkungs-Index	(en: load enhancement factor)
LEFM	Linear-elastische Bruchmechanik	(en: linear elastic fracture mechanism)
K_C	Bruchzähigkeit bei anderen Spannungszuständen als ebene Beanspruchung ANMERKUNG Siehe ANMERKUNG 1 der Definition 3.2.14.	(en: fracture toughness for stress conditions other than plane strain)
K_{IC}	Bruchzähigkeit bei ebener Beanspruchung	(en: plane strain fracture toughness)
K_{ISCC}	Schwellenwert des Spannungsintensitätsfaktors für Spannungsrisskorrosion	(en: threshold stress-intensity factor for stress-corrosion cracking)
ΔK_{th}	Schwellenwert des Bereichs der Spannungsintensität	(en: threshold stress-intensity range)
MDP	Größter Bemessungsdruck	(en: maximum design pressure)
MEOP	Größter erwarteter Betriebsdruck	(en: maximum expected operating pressure)
NASA	US-amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde	(en: National Aeronautics and Space Administration)
NDI	Zerstörungsfreie Untersuchung	(en: non-destructive inspection)
NHLBB	Nicht gefährliche Undichtheit vor dem Bersten	(en: non-hazardous leak before burst)
NSTS	Nationales Raumtransportsystem (Space Shuttle der NASA)	(en: National Space Transportation System (NASA Space Shuttle))
PDR	Vorläufiges Designreview	(en: preliminary design review)
PFCI	Möglicherweise rissgefährdetes Bauteil	(en: potential fracture-critical item)
PFCIL	Liste möglicherweise rissgefährdeter Bauteile	(en: potential fracture-critical items list)
R	Verhältnis der kleinsten zur größten mechanischen Spannung	(en: ratio of the minimum stress to maximum stress)
RFCP	Verkürztes Programm zur Überwachung des Rissfortschritts	(en: reduced fracture-control programme)
SAE	Verband der Automobilingenieure	(en: Society of Automotive Engineers)
SCC	Spannungsrisskorrosion	(en: stress-corrosion cracking)
SI	Internationales Einheitensystem	(en: international system of units)
SRR	Systemanforderungsreview	(en: system requirements review)
STS	Raumtransportsystem (US-Raumfähre)	(en: Space Transportation System (US Space Shuttle))
US	Ultraschall	(en: ultrasonic)
VDT	Schwellenwert für sichtbare Beschädigung	(en: visual damage threshold)

English version

Space engineering - Fracture control

Ingénierie spatiale - Maîtrise de la rupture

Raumfahrttechnik - Überwachung des Rissfortschritts

This European Standard was approved by CEN on 10 February 2014.

CEN and CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN and CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN and CENELEC member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN and CENELEC members are the national standards bodies and national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.



**CEN-CENELEC Management Centre:
Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels**

Table of contents

Foreword	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms.....	10
3.1 Terms from other standards.....	10
3.2 Terms specific to the present standard	11
3.3 Abbreviated terms.....	17
4 Principles	19
5 Fracture control programme	21
5.1 General.....	21
5.2 Fracture control plan.....	21
5.3 Reviews	22
5.3.1 General	22
5.3.2 Safety and project reviews	23
6 Identification and evaluation of PFCI.....	25
6.1 Identification of PFCIs.....	25
6.2 Evaluation of PFCIs	26
6.2.1 Damage tolerance.....	26
6.2.2 Fracture critical item classification	28
6.3 Compliance procedures	28
6.3.1 General	28
6.3.2 Safe life items	28
6.3.3 Fail-safe items.....	29
6.3.4 Contained items	30
6.3.5 Low-risk fracture items	31
6.4 Documentation requirements	36
6.4.1 Fracture control plan	36
6.4.2 Lists	36
6.4.3 Analysis and test documents.....	36

6.4.4	Fracture control summary report	36
7	Fracture mechanics analysis.....	38
7.1	General.....	38
7.2	Analytical life prediction	39
7.2.1	Identification of all load events	39
7.2.2	Identification of the most critical location and orientation of the crack.....	39
7.2.3	Derivation of stresses for the critical location.....	40
7.2.4	Derivation of the stress spectrum	40
7.2.5	Derivation of material data	41
7.2.6	Identification of the initial crack size and shape.....	41
7.2.7	Identification of an applicable stress intensity factor solution.....	42
7.2.8	Performance of crack growth calculations	43
7.3	Critical crack-size calculation	43
8	Special requirements	45
8.1	Introduction.....	45
8.2	Pressurized hardware	45
8.2.1	General	45
8.2.2	Pressure vessels.....	45
8.2.3	Pressurized structures	48
8.2.4	Pressure components	48
8.2.5	Low risk sealed containers.....	49
8.2.6	Hazardous fluid containers.....	49
8.3	Welds	50
8.3.1	Nomenclature.....	50
8.3.2	Safe life analysis of welds	50
8.4	Composite, bonded and sandwich structures.....	51
8.4.1	General	51
8.4.2	Defect assessment.....	51
8.4.3	Damage threat assessment	53
8.4.4	Compliance procedures	54
8.5	Non-metallic items other than composite, bonded, sandwich and glass items	57
8.6	Rotating machinery.....	58
8.7	Glass components	58
8.8	Fasteners	59
9	Material selection	61
10	Quality assurance and Inspection	62

10.1	Overview	62
10.2	Nonconformances.....	62
10.3	Inspection of PFCI	62
10.3.1	General	62
10.3.2	Inspection of raw material	63
10.3.3	Inspection of safe life finished items	64
10.4	Non-destructive inspection of metallic materials	65
10.4.1	General	65
10.4.2	NDI categories versus initial crack size	65
10.4.3	Inspection procedure requirements for standard NDI	69
10.5	NDI for composites, bonded and sandwich parts	72
10.5.1	General	72
10.5.2	Inspection requirements	73
10.6	Traceability	74
10.6.1	General	74
10.6.2	Requirements.....	75
10.7	Detected defects.....	75
10.7.1	General	75
10.7.2	Acceptability verification	76
10.7.3	Improved probability of detection.....	77
11	Reduced fracture control programme	78
11.1	Applicability.....	78
11.2	Requirements	78
11.2.1	General	78
11.2.2	Modifications	78
Annex A	(informative) The ESACRACK software package.....	80
Annex B	(informative) References	81
Bibliography		82
 Figures		
Figure 5-1:	Identification of PFCI	22
Figure 6-1:	Fracture control evaluation procedures	27
Figure 6-2:	Safe life item evaluation procedure for metallic materials	33
Figure 6-3:	Safe life item evaluation procedure for composite, bonded and sandwich items	34
Figure 6-4:	Evaluation procedure for fail-safe items.....	35

Figure 8-1: Procedure for metallic pressure vessel and metallic liner evaluation 47

Figure 10-1: Initial crack geometries for parts without holes 71

Figure 10-2: Initial crack geometries for parts with holes 72

Figure 10-3: Initial crack geometries for cylindrical parts 72

Tables

Table 8-1: Factor on stress for sustained crack growth analysis of glass items 59

Table 10-1: Initial crack size summary, standard NDI 68

Foreword

This document (EN 16603-32-01:2014) has been prepared by Technical Committee CEN/CLC/TC 5 "Space", the secretariat of which is held by DIN.

This standard (EN 16603-32-01:2014) originates from ECSS-E-ST-32-01C Rev. 1.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by February 2015, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by February 2015.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. CEN [and/or CENELEC] shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This document supersedes EN 14165:2004.

This document has been developed to cover specifically space systems and has therefore precedence over any EN covering the same scope but with a wider domain of applicability (e.g. : aerospace).

According to the CEN-CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and the United Kingdom.

1

Scope

This ECSS Engineering Standard specifies the fracture control requirements to be imposed on space segments of space systems and their related GSE.

The fracture control programme is applicable for space systems and related GSE when required by ECSS-Q-ST-40 or by the NASA document NST 1700.7, incl. ISS addendum.

The requirements contained in this Standard, when implemented, also satisfy the fracture control requirements applicable to the NASA STS and ISS as specified in the NASA document NSTS 1700.7 (incl. the ISS Addendum).

The NASA nomenclature differs in some cases from that used by ECSS. When STS/ISS-specific requirements and nomenclature are included, they are identified as such.

This standard may be tailored for the specific characteristic and constraints of a space project in conformance with ECSS-S-ST-00.

Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this ECSS Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revision of any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this ECSS Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the more recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the publication referred to applies.

EN reference	Reference in text	Title
EN 16601-00-01	ECSS-S-ST-00-01	ECSS system – Glossary of terms
EN 16603-32	ECSS-E-ST-32	Space engineering – Structural
EN 16603-32-02	ECSS-E-ST-32-02	Space engineering – Structural design and verification of pressurized hardware
EN 16602-20	ECSS-Q-ST-20	Space product assurance – Quality assurance
EN 16602-40	ECSS-Q-ST-40	Space product assurance – Safety
EN 16602-70	ECSS-Q-ST-70	Space product assurance – Materials, mechanical parts and processes
EN 16602-70-36	ECSS-Q-ST-70-36	Space product assurance – Material selection for controlling stress-corrosion cracking
EN 16602-70-45	ECSS-Q-ST-70-45	Space product assurance – Mechanical testing of metallic materials
	ASTM E 164	Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments
	ASTM E 426	Standard Practice for Electromagnetic (Eddy-Current) Examination of Seamless and Welded Tubular Products, Austenitic Stainless Steel and Similar Alloys
	ASTM E 1417	Standard Practice for Liquid Penetrant Examination
	ASTM E 1444	Standard Practice for Magnetic Particle Examination
	ASTM E 1742	Standard Practice for Radiographic Examination
	DOT/FAA/AR-MMPDS	Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS) (former MIL-HDBK-5)
	EN 4179	Aerospace – Qualification and Authorization of Personnel for Non-destructive Testing

EN reference	Reference in text	Title
	EN ISO 6520-1	Welding and allied processes – Classification of geometric imperfections in metallic materials – Part 1: Fusion welding
	ISO 17659	Welding – Multilingual terms for welded joints with illustrations
	MIL-HDBK-6870	Inspection program requirements, nondestructive, for aircraft and missile materials and parts
	NAS-410	Nondestructive testing personnel qualification and certification
	NSTS 1700.7	Safety Policy and Requirements For Payloads Using the Space Transportation System (STS)
	NSTS 1700.7 ISS Addendum	Safety Policy and Requirements For Payloads Using the International Space Station
	SAE AMS-STD-2154	Process for inspection, ultrasonic, wrought metals
	SAE AMS 2644	Inspection Material, Penetrant
	NSTS/ISS 13830	Payload Safety Review and Data Submittal Requirements For Payloads Using the Space Shuttle & International Space Station

Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms from other standards

For the purpose of this Standard, the terms and definitions from ECSS-ST-00-01 apply, in particular for the following terms:

customer

NOTE In this standard, the customer is considered to represent the responsible fracture control or safety authority.

For the purpose of this Standard, the following term and definition from ECSS-E-ST-10-03 apply:

proof test

For the purpose of this Standard, the following terms and definitions from ECSS-E-ST-32 apply:

flaw

NOTE The term defect is used as a synonymous.

maximum design pressure (MDP)

service life

For the purpose of this Standard, the following term and definition from ECSS-E-ST-32-02 apply:

burst pressure

hazardous fluid container

leak before burst, LBB

pressure component

pressure vessel

pressurized structure

sealed container

special pressurized equipment

visual damage threshold, VDT

NOTE 1 For typical implementation of thin-walled composite structure, the VDT is sometimes more specifically defined as the impact energy of an

impactor with a hemi-spherical tip of 16 mm diameter resulting in 0,3 mm or more remaining surface deflection, after sufficiently long time to cover potential evolution of the indentation over time (due to e.g. wet ageing, fatigue loading, viscoelasticity of the resin) between impact and inspection.

NOTE 2 It can be time consuming to determine the VDT based on remaining surface deflection of 0,3 mm (see NOTE 1) after a sufficiently long time. Therefore, tests which cause mechanical damage corresponding to a deflection of at least 1 mm, immediately after impact, are sometimes used to determine the VDT.

For the purpose of this Standard, the following term and definition from ECSS-Q-ST-40 apply:

catastrophic hazard

critical hazard

3.2 Terms specific to the present standard

3.2.1 aggressive environment

combination of liquid or gaseous media and temperature that alters static or fatigue crack-growth characteristics from normal behaviour associated with an ambient temperature and laboratory air environment

3.2.2 analytical life

life evaluated analytically by crack-growth analysis or fatigue analysis

3.2.3 catastrophic hazard

<other than NASA STS or ISS payloads> see ECSS-Q-ST-40B

3.2.4 catastrophic hazard

<NASA STS or ISS payloads> potential risk situation that can result in a disabling or fatal personnel injury, loss of the NASA orbiter, ISS, ground facilities, or STS/ISS equipment

[NSTS 1700.7 incl. ISS Addendum, paragraph 302]

3.2.5 close visual inspection

close proximity, intense visual examination of the internal and external surfaces of a structure, including structural details or locations, for indications of impact damage, flaws, and other surface defects

NOTE The inspection capability is evaluated by the surface deflection measurement (impact depth). The close visual inspection is considered to

detect reliably a deflection larger than the visual damage threshold (VDT).

3.2.6 containment

damage tolerance design principle that, if a part fails, prevents the propagation of failure effects beyond the container boundaries

NOTE 1 A contained part is not considered PFCI, unless its release can cause a hazard inside the container. The container is a PFCI, and its structural integrity after impact is verified as part of fracture control activities.

NOTE 2 In this standard, the term containment in most cases also covers items which are e.g. restrained by a tether to prevent the occurrence of hazardous events due to failure of the item.

3.2.7 crack-like defect

defect that has the same mechanical behaviour as a crack

NOTE 1 "Crack" and "crack-like defect" are considered synonymous in this standard.

NOTE 2 Crack-like defects can, for example, be initiated during material production, fabrication or testing or developed during the service life of a component.

NOTE 3 The term "crack-like defect" can include:

- For metallic materials flaws, inclusions, pores and other similar defects.
- For non-metallic materials, debonding, broken fibres, delamination, impact damage and other specific defects depending on the material.

3.2.8 crack aspect ratio, a/c

<part-through surface crack> ratio of crack depth to half crack length

3.2.9 crack aspect ratio, a/c

<part-through corner crack> ratio of crack depth to crack length

3.2.10 crack growth rate

rate of change of crack dimension with respect to the number of load cycles or time

NOTE For example da/dN , dc/dN , da/dt and dc/dt .

3.2.11 crack growth retardation

reduction of crack-growth rate due to overloading of the cracked structural member

3.2.12 critical crack size

the crack size at which the structure fails under the maximum specified load

NOTE The maximum specified load is in many cases the limit load, but sometimes higher than the limit load (e.g. for detected defects, composites and glass items)

3.2.13 critical initial defect, CID

critical (i.e., maximum) initial crack size for which the structure can survive the specified number of lifetimes.

3.2.14 critical stress-intensity factor

value of the stress-intensity factor at the tip of a crack at which unstable propagation of the crack occurs

NOTE 1 This value is also called the fracture toughness. The parameter K_{IC} is the fracture toughness for plane strain and is an inherent property of the material. For stress conditions other than plane strain, the fracture toughness is denoted K_C . In fracture mechanics analyses, failure is assumed to be imminent when the applied stress-intensity factor is equal to or exceeds its critical value, i.e. the fracture toughness. See 3.2.25.

NOTE 2 The term fracture toughness is used as a synonymous.

3.2.15 cyclic loading

fluctuating load (or pressure) characterized by relative degrees of loading and unloading of a structure

NOTE For example, loads due to transient responses, vibro-acoustic excitation, flutter, pressure cycling and oscillating or reciprocating mechanical equipment.

3.2.16 damage tolerance threshold strain

<composite structural items> maximum strain level below which damage compatible with the sizes established by non-destructive inspection (NDI), special visual inspection, the damage threat assessment, or the minimum sizes imposed does not grow in 10^6 cycles (10^8 cycles for rotating hardware) at a load ratio appropriate to the application

NOTE 1 Strain level is the maximum absolute value of strain in a load cycle.

NOTE 2 The damage tolerance threshold strain is a function of the material type and lay-up and is determined from test data in the design environment to the applicable or worst type and orientation of strain and flaw for a particular

design and flaw size (e.g. the size determined by the VDT).

3.2.17 damage tolerant

characteristic of a structure for which the amount of general degradation or the size and distribution of local defects expected during operation, or both, do not lead to structural degradation below specified performance

3.2.18 defect

see 'flaw' (3.1)

3.2.19 detected defect

defect known to exist in the hardware

3.2.20 fail-safe

<structures> damage-tolerance design principle, where a structure has redundancy to ensure that failure of one structural element does not cause general failure of the entire structure during the remaining lifetime

3.2.21 fastener

item that joins other structural items and transfers loads from one to the other across a joint

3.2.22 fatigue

cumulative irreversible damage incurred by cyclic application of loads to materials and structures

NOTE 1 Fatigue can initiate and extend cracks, which degrade the strength of materials and structures.

NOTE 2 Examples of factors influencing fatigue behaviour of the material are the environment, surface condition and part dimensions

3.2.23 fracture critical item

item classified as such

3.2.24 fracture limited life item

hardware item that requires periodic re-inspection or replacement to be in conformance with fracture control requirements

3.2.25 fracture toughness

materials' resistance to the unstable propagation of a crack

NOTE See critical stress intensity factor, 3.2.14.

3.2.26 initial crack size

maximum crack size, as defined by non-destructive inspection, for performing a fracture control evaluation

3.2.27 joint

element that connects other structural elements and transfers loads from one to the other across a connection

3.2.28 load enhancement factor, LEF

factor to be applied on the load level of the spectrum of fatigue test(s) in order to demonstrate with the test(s) a specified level of reliability and confidence

NOTE 1 The LEF is dependent upon the material or construction, the number of test articles, and the duration of the tests.

NOTE 2 MIL-HDBK-17F, Volume 3, Section 7.6.3 gives an approach for calculating the LEF for composite structures.

3.2.29 loading event

condition, phenomenon, environment or mission phase to which the structural system is exposed and which induces loads in the structure

3.2.30 load spectrum

representation of the cumulative static and dynamic loadings anticipated for a structural element during its service life

NOTE Load spectrum is also called load history.

3.2.31 mechanical damage

induced flaw in a composite hardware item that is caused by external influences, such as surface abrasions, cuts, or impacts

3.2.32 potential fracture critical item, PFCI

item for which the initiation or propagation of cracks in structural items during the service life can result in a catastrophic or critical hazard, or NASA STS/ISS catastrophic hazardous consequences

NOTE Pressure vessels and rotating machinery are always considered PFCI. See Figure 5-1.

3.2.33 R-ratio

ratio of the minimum stress to maximum stress

3.2.34 residual stress

stress that remains in the structure, owing to processing, fabrication, assembly or prior loading

3.2.35 rotating machinery

rotating mechanical assembly that has a kinetic energy of 19300 joules or more, or an angular momentum of 136 Nms or more

NOTE The amount of kinetic energy is based on $0,5 I \omega^2$ where I is the moment of inertia (kg.m^2) and ω is the angular velocity (rad/s).

3.2.36 safe life

fracture-control design principle, for which the largest undetected defect that can exist in the part does not grow to failure when subjected to the cyclic and sustained loads and environments encountered in the service life

3.2.37 special NDI

NDI methods that are capable of detecting cracks or crack-like flaws smaller than those assumed detectable by Standard NDI or do not conform to the requirements for Standard NDI

NOTE 1 See 10.4.2.1 and 10.4.3.

NOTE 2 Special NDI methods are not limited to fluorescent penetrant, radiography, ultrasonic, eddy current, and magnetic particle. See also 10.4.2.2.

3.2.38 standard NDI

NDI methods of metallic materials for which the required statistically based flaw detection capability has been established. and it is listed in Table 10-1

NOTE 1 For standard NDI, see clauses 10.4.2.1 and 10.4.3.

NOTE 2 For required statistically based flaw detection capability, see 10.4.2.1e.

NOTE 2 Limitations on the applicability of standard NDI to radiographic NDI can be found in 10.4.2.1f and 10.4.2.1g.

NOTE 4 Standard NDI methods addressed by this document are limited to fluorescent penetrant, radiography, ultrasonic, eddy current, and magnetic particle.

3.2.39 stress-corrosion cracking, SCC

initiation or propagation, or both, of cracks, owing to the combined action of applied sustained stresses, material properties and aggressive environmental effects

NOTE The maximum value of the stress-intensity factor for a given material at which no environmentally induced crack growth occurs at sustained load for the specified environment is K_{ISCC} .

3.2.40 stress intensity factor, K

calculated quantity that is used in fracture mechanics analyses as a measure of the stress-field intensity near the tip of an idealised crack

NOTE Calculated for a specific crack size, applied stress level and part geometry. See 3.2.14.

3.2.41 threshold stress intensity range, ΔK_{th}

stress-intensity range below which crack growth does not occur under cyclic loading

3.2.42 variable amplitude spectrum

load spectrum or history whose amplitude varies with time

3.3 Abbreviated terms

For the purpose of this Standard, the abbreviated terms from ECSS-S-ST-00-01 and the following apply:

Abbreviation	Meaning
a/c	crack aspect ratio (see 3.2.8)
AR	acceptance review
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
CDR	critical design review
CID	critical initial defect
COPV	composite overwrapped pressure vessel
DOT	United States Department of Transportation
DRD	document requirements definition
EN	European Standard
EPFM	elastic-plastic fracture mechanics
ESA	European Space Agency
FAD	failure assessment diagram
FCI	fracture-critical item
FCIL	fracture-critical items list
FE	finite element
FLLI	fracture-limited life item
FLLIL	fracture-limited life items list
FOD	foreign object debris
F_{ty}	design tensile yield strength (in MPa)
F_{tu}	design tensile ultimate strength (in MPa)
GSE	ground support equipment
ISO	International Organisation for Standardisation
ISS	International Space Station
J-R curve	resistance curve based on J-integral
K-R curve	resistance curve based on stress intensity factor (K)
LBB	leak before burst
LEF	load enhancement factor

LEFM	linear elastic fracture mechanics
K_C	fracture toughness for stress conditions other than plane strain
	NOTE: See NOTE 1 of definition 3.2.14.
K_{IC}	plane strain fracture toughness
K_{ISCC}	threshold stress-intensity factor for stress-corrosion cracking
ΔK_{th}	threshold stress-intensity range
MDP	maximum design pressure
MEOP	maximum expected operating pressure
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDI	non-destructive inspection
NHLBB	non-hazardous leak before burst
NSTS	National Space Transportation System (NASA Space Shuttle)
PDR	preliminary design review
PFCI	potential fracture-critical item
PFCIL	potential fracture-critical items list
R	ratio of the minimum stress to maximum stress
RFCP	reduced fracture-control programme
SAE	Society of Automotive Engineers
SCC	stress-corrosion cracking
SI	international system of units
SRR	system requirements review
STS	Space Transportation System (US Space Shuttle)
US	ultrasonic
VDT	visual damage threshold