ICS 21.060.10 VDI-RICHTLINIEN November 2015

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylindrische Einschraubenverbindungen

Systematic calculation of highly stressed bolted joints Joints with one cylindrical bolt

VDI 2230

Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Frühere Ausgabe: 12.14
Former edition: 12/14

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf 2015

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

Inhalt Seite

Vorbemerkung 3
Einleitung 3
1 Anwendungsbereich 5
2 Formelzeichen und Abkürzungen 6
3 Kraft- und Verformungsverhältnisse 19
3.1 Überblick über mögliche Berechnungsverfahren 20
3.2 Grundlagen zur Berechnung von Einschraubenverbindungen; Kraft- und Verformungsanalyse 20
3.2.1 Zentrisch verspannte Einschraubenverbindung 25
3.2.2 Exzentrisch verspannte Einschraubenverbindung 26
3.2.3 Einseitiges Klaffen der Trennfuge . . 27
3.2.4 Querkrafteinflüsse 28
4 Rechenschritte 29
4.1 Übersicht 29
4.2 Erläuterungen 29
5 Berechnungsgrößen 39
5.1 Elastische Nachgiebigkeiten der Verbindung 39
5.1.1 Nachgiebigkeit der Schraube 39
5.1.2 Nachgiebigkeit der aufeinanderliegenden verspannten Teile 42
5.2 Krafteinleitung 55
5.2.1 Ersatzwirkungslinie der axialen Betriebskraft – Abstand a 55
5.2.2 Krafteinleitungsfaktor 55

Contents Page

Preliminary note 3
Introduction 3
1 Scope 5
2 Symbols and abbreviations 6
3 Load and deformation conditions 19
3.1 Overview of the possible calculation methods. 20
3.2 Principles for calculating single-bolted joints; analysis of forces and deformation . 20
3.2.1 Concentrically clamped single-bolted joint 25
3.2.2 Eccentrically clamped single-bolted joint 26
3.2.3 One-sided opening of the interface . 27
3.2.4 Effects of transverse load 28
4 Calculation steps 29
4.1 Overview 29
4.2 Explanations 29
5 Calculation quantities 39
5.1 Elastic resiliences of the joint 39
5.1.1 Resilience of the bolt 39
5.1.2 Resilience of superimposed clamped parts 42
5.2 Load introduction 55
5.2.1 Substitutional line of action of the axial working load – distance a . . . 55
5.2.2 Load introduction factor 55

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik

VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2015

Seite

5.3 Kraftverhältnis und Schraubenzusatzkraft 63
5.3.1 Kraftverhältnisse und Schraubenzusatzkraft bis zur Abhebegrenze . 63
5.3.2 Verhältnisse an der Abhebegrenze bei exzentrischer Belastung 67
5.3.3 Verhältnisse bei klaffender Verbindung 70
5.4 Vorspannkraft 71
5.4.1 Mindestklemmkraft 71
5.4.2 Vorspannkraftänderungen 71
5.4.3 Montagevorspannkraft und Anziehdrehmoment 75
5.4.4 Hydraulisches reibungs- und torsionsfreies Anziehen 83
5.4.5 Mindestmontagevorspannkraft. . . 84
5.5 Beanspruchungen und Festigkeitsnachweis 84
5.5.1 Montagebeanspruchung 84
5.5.2 Betriebsbeanspruchung 87
5.5.3 Schwingbeanspruchung 92
5.5.4 Flächenpressung an Schraubenkopf- und Mutternauflageflächen . 96
5.5.5 Einschraubtiefe 97
5.5.6 Scherbelastung 102

6 Gestaltungshinweise zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Schraubenverbindungen 106
6.1 Haltbarkeit der Schraubenverbindung . . 106
6.2 Lockern und Losdrehen von Schraubenverbindungen 108

Anhang A Tabellen zur Berechnung 109

Anhang B Berechnungsbeispiele 130

Anhang C Berechnung des Krafteinleitungsfaktors 171
C1 Herauslösen der Einschraubverbindung . 171
C2 Aufteilen der Verbindung in Teilplatten . 171
C3 Aufteilen der Verbindung in Grund- und Anschlusskörper 171
C4 Berechnung der Krafteinleitungsfaktoren für die Teilkörper 172
C5 Berechnen des Krafteinleitungsfaktors für die gesamte Einschraubenverbindung aus den Krafteinleitungsfaktoren der zentrisch verspannten Teilplatten 175
C6 Ermitteln des Einflusses einer exzentrischen Verspannung auf den Krafteinleitungsfaktor 175

Anhang D Näherungsverfahren zur Ermittlung der Schraubenzusatzkraft bei partiell klaffenden Verbindungen 176

Schrifttum 179

Page

5.3 Load factor and additional bolt load . . . 63
5.3.1 Load factors and additional bolt load up to the opening limit 63
5.3.2 Relationships at the opening limit in the case of eccentric loading . . 67
5.3.3 Relationships at an opening joint . 70
5.4 Preload 71
5.4.1 Minimum clamp load 71
5.4.2 Preload changes 71
5.4.3 Assembly preload and tightening torque 75
5.4.4 Hydraulic frictionless and torsion-free tightening 83
5.4.5 Minimum assembly preload 84
5.5 Stresses and strength verification 84
5.5.1 Assembly stress 84
5.5.2 Working stress 87
5.5.3 Alternating stress 92
5.5.4 Surface pressure at the bolt head and nut bearing surfaces 96
5.5.5 Length of engagement 97
5.5.6 Shearing load 102

6 Design information for increasing the service reliability of bolted joints 106
6.1 Durability of the bolted joint 106
6.2 Loosening of bolted joints 108

Annex A Calculation tables 109

Annex B Calculation examples 130

Annex C Calculating the load introduction factor 171
C1 Releasing the tapped thread joint 171
C2 Dividing the joint into component plates 171
C3 Dividing the joint into basic and connecting solids 171
C4 Calculating the load introduction factors for the component solids 172
C5 Calculating the load introduction factor for the complete single-bolted joint from the load introduction factors of the concentrically clamped component plates . . 175
C6 Determining the effect of eccentric clamping on the load introduction factor. 175

Annex D Approximative method for determining the additional bolt force in the case of partially opening joints . . 176

Bibliography 179