

Einige Aspekte der Schraubensicherungen

Bekanntlich haben Schraubenverbindungen unter dynamischer Belastung und bei Vibrationen die Neigung sich selbst zu lösen. Diese Eigenschaft ist sehr gefährlich, weil es infolgedessen zu Beschädigungen der gesamten Konstruktion kommen kann. Bekannt sind die mehr oder weniger wirkungsvollen Gegenmaßnahmen. Der Markt bietet eine breite Palette von Sicherungselementen an, die auch genutzt werden. Sind aber alle diese Elemente und Maßnahmen tatsächlich effektiv?

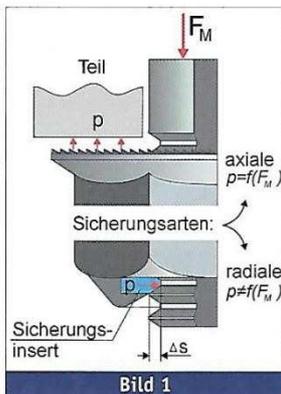


Bild 1
Prinzip der radialen und axialen Schraubensicherung.

F_M Montagevorspannkraft,
 p Anpressdruck,
 Δs Übermaß

Grundlagen der Schraubensicherung

Schraubenverbindungen werden im Betrieb dem Einfluss von unterschiedlichen statisch

oder dynamisch wirkenden Beanspruchungen wie Zug, Druck, Scheren, Biegen, Torsion – wie auch deren Kombinationen [2] unterzogen (Tabelle 1).

Entweder unterstützen sich diese Kräfte oder sie wirken gegeneinander und beeinflussen stark die ursprüngliche Montagevorspannung. Das Ergebnis ist meistens Klemmkraftinstabilität, die sich als Vorspankraftverlust, im Extremfall sogar als Totalausfall der Verbindung, äußert. Der Prozess des selbsttätigen LöSENS der Schrauben verläuft in drei bekannten Etappen: Lockern, Losdrehen und totaler Verlust der Vorspannkraft [3]. Um das zu verhindern, werden überwiegend radiale (kraftschlüssige) oder axiale (formschlüssige) im Labor getestete Schraubensicherungen verwendet. Das Prinzip (die chemischen Methoden werden hier nicht in Betracht gezogen) ist Bild 1 zu entnehmen.

Während bei den axialen Methoden (profilerte Scheiben und Flanschschrauben und -muttern)

der Sicherungseffekt direkt von der Vorspannkraft F_M abhängt, das heißt von dem Anpressdruck p , sind die meisten radial wirkenden Sicherungselemente auch bei $F_M = 0$ effektiv. Mit anderen Worten: Die radiale Sicherung ist von der Montagevorspannkraft absolut unabhängig.

Testmethoden und Messergebnisse

Zum Testen gibt es prinzipiell drei Grundtypen von Prüfungen (Bild 2). Zur Verfügung standen uns zwei davon und zwar Methode A und B.

Typ A (Bauart Junker – DIN 25201 oder Unbrako) arbeitet nach dem Prinzip der wechselnden zyklischen Querbelastung, Typ B (Bild 3) ist auf wechselnder axialer Belastung gegründet und C (National Aerospace Standard 3350/3354, USA) ist eine rein waagrecht oder senkrecht orientierte Vibrationsmethode.

Aus dem Vergleich der möglichen viel-fältigen Beanspruchun-

gen (Tabelle 1) der Schraubenverbindungen bei begrenzten Möglichkeiten der Prüfmethodiken geht hervor, dass es problematisch ist, im Labor tatsächliche Betriebsbedingungen zu simulieren. Objektiv wäre es, wenn man mit allen Messmethoden prüfen würde. Jede einzelne Methode muss nämlich nicht unbedingt die reale Beanspruchung repräsentieren. Daraus kann eine falsche Interpretation der Messergebnisse resultieren.

Es ist zu erwähnen, dass es in dieser Richtung keine Norm gibt, es gibt nur Empfehlungen. Die erwähnte Norm DIN 25201 (alt DIN 65151) beschreibt nur eine der Methoden. Jeder darf selbst entscheiden, welche Prüfmethode angewandt wird. Bei allen Methoden wird der Vorspannkraftabfall in Abhängigkeit von der Zeit oder von der Anzahl der Lastzyklen bei bestimmter Frequenz und Amplitude verfolgt und verschiedenartig registriert. Die Messergebnisse werden dann untereinander verglichen und

Autor

Dr.-Ing. Jozef Dominik
CEO
Ferodom, s.r.o.
Štefánikova 58
SK-01001 Žilina
Slowakei
Tel.: +4 21 41/7 24 38 03
Fax: +4 21 41/7 23 43 27
E-Mail: ferodom@ferodom.sk
www.ferodom.com
www.fastener-lockingline.com

einwirkende Betriebskräfte	axiale Kräfte	zentrische Zug oder Druck	statische
		exzentrische Zug oder Druck	dynamische
	quer einwirkende Kräfte	statische	
		dynamische	einseitig einwirkende beidseitig einwirkende
	Torsionskräfte	statische	
		zyklisch sich wiederholte Torsionskräfte	

Tabelle 1

Verschiedenartige Betriebskräfte

ausgewertet (Bilder 4 bis 6, Parameter siehe oben). In der Praxis wird angenommen, dass eine Schraubenverbindung sicher ist, wenn der Vorspannkraftabfall nicht mehr als 20 Prozent ausmacht.

Auswertung der Testergebnisse und Diskussion

Die Aufmerksamkeit wird hier zwei typischen Vertretern der kraft- und formschlüssigen Schraubensicherungen geschenkt:

- Sicherungsmuttern DIN 985 und
- Keilsicherungsscheiben (KSS).

DIN 985:

Paradoxiereise, trotz negativer Literaturreferenzen, sind die Sicherungsmuttern DIN 985 mit Nyloneinlage in der Praxis sehr beliebt. Auch dies zeigt die zweifelhafte Objektivität der Modellprüfungen. Im Zusammenhang mit den betreffenden Sicherungsmuttern sollte gesagt werden, dass die kritischen Parameter in diesem Fall nicht ungenügende Sicherungsfähigkeit, sondern Temperaturempfindlichkeit, erschwertes Drehmoment und problematische Wiederholbarkeit (siehe DIN EN ISO 2320, die auf ein sehr geringes Klemmmoment bei mehrfacher Montagewiederholung hinweist) sind.

Wie den Bildern 4 und 5 zu entnehmen ist, weisen diese Muttern bei der axialen zyklischen Belastung relativ bessere Losdrehmomente als bei der radialen Belastung auf. Wie schon konstatiert, sichern diese Muttern auch bei $F_M = 0$. Das ist ein Vorteil. Auf der anderen Seite ist wegen des nötigen Übermaßes Δs (Bild 1) die Mehrfachmontage problematisch. Besonders bei zu schneller Montage entsteht durch die Reibung Wärme, die dann die Beschädigung des Nylonringes zur Folge hat (Bild 7). Dadurch werden die Reibverhältnisse geändert, was das exakte Anziehen praktisch unmöglich macht.

KSS:

Solche Sicherungselemente widerstehen gut den wechselnden

Querkräften (Junker-Test, Bild 6). Wie aber Sawa, T. und Koll. [4] gezeigt haben, sind sie bei der Einwirkung der reinen Vibrationen laut NAS 3350 überraschend uneffektiv. Gerade bei der axialen Belastung (EDYZ-Test) wiesen sie nicht die besten Resultate auf (Bild 4). Alle formschlüssigen Sicherungselemente wie Scheiben, Muttern oder Schrauben mit verzahnten (gerippten) Flanschen sind bei wechselnder axialer Belastung in Fällen, bei denen die aufgebrachte Amplitude zu groß ist, empfindlich. Es ist noch zu betonen, dass diese Sicherungselemente keine Verliersicherung gewährleisten (Bild 1). Diese wichtige Tatsache wird in der Literatur und in Prospekten häufig vergessen. Ein Optimum scheint die Kombination der formschlüssigen mit der kraftschlüssigen Sicherung zu sein. Technisch wäre dies kein Problem (siehe Bild 10).

Im Zusammenhang mit den KSS ist noch zu bemerken, dass sie in Paaren unter dem Kopf der Schraube und Mutter montiert werden. Für die Schraubverbindung bedeutet das insgesamt sieben Trennfugenflächen. Jede Fuge ist durch einen eigenen Setzbetrag gekennzeichnet, das heißt, der gesamte Setzbetrag (Vorspannkraftabfall in der ersten Stufe des Selbstlösen der Schrauben) wird addiert. Das haben separate Junkerversuche (Bild 6) bestätigt.

Die Kombination der wechselnden Beanspruchung mit zu vielen Trennfugenflächen kann z. B. das Ausbeulen der Befestigungslöcher an Felgen eines Automobilrades (Bild 8) verursachen und anschließend zum gefährlichen Ermüdungsbruch (Bild 9) führen.

Wie gezeigt können die Modellprüfungen zur Beständigkeit der Sicherungselemente gegen dynamische Belastung und Vibrationen keine allgemeine Gültigkeit haben.

Hersteller und Distributoren vergleichen eigene Produkte meist nicht mit denen von Wettbewerbern. Meist sucht man den Vergleich nur mit den schwächsten „Spielern“ auf dem Markt wie z. B. Sicherungsmuttern DIN 985,

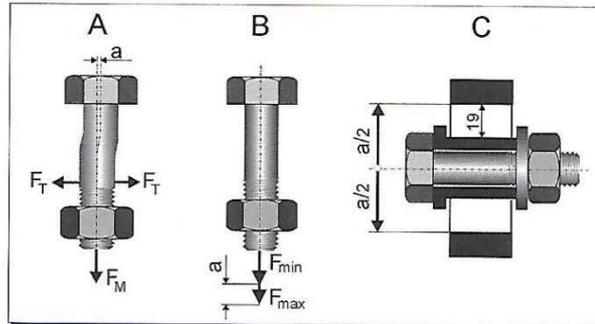


Bild 2

Prüfmethode der Schraubverbindungen: A dynamische Querbelastung; B dynamische axiale Belastung; C Vibrationsmethode (NAS 3350)
a Amplitude; F_M Montagekraft; F_T Querkraft

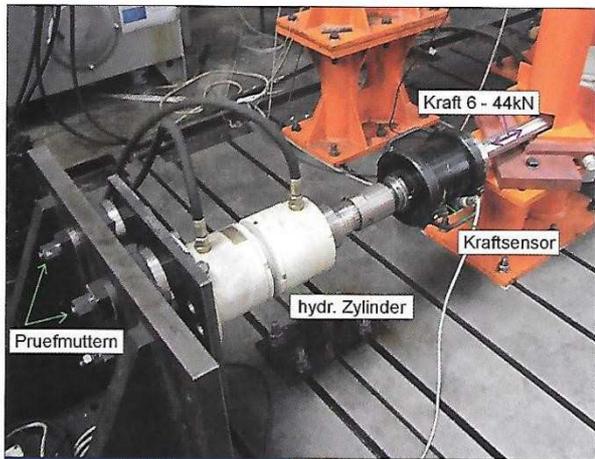


Bild 3

Versuchsanlage EDYZ für dynamische Prüfungen in der Axialrichtung

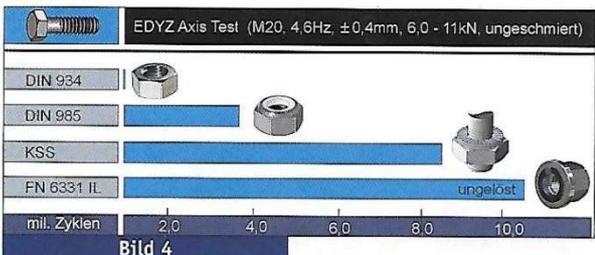


Bild 4

Restliche Vorspannkraft der Schraubverbindungen nach dynamischer Axialbelastung (EDYZ Testanlage, M20, KL. 10).

KSS – Keilsicherungsscheibe

FN 6331 IL – DIN 6331 modifiziert auf IstLock-Variante

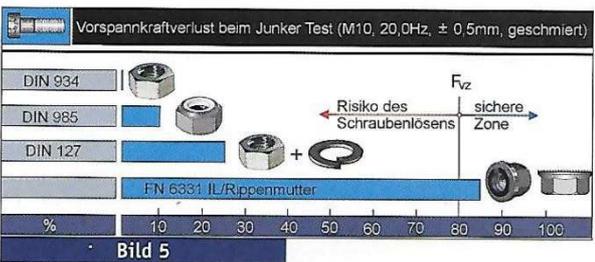


Bild 5

Vorspannkraftabfall der Schraubverbindungen nach dynamischer Radialbelastung (Junkertest M10, KL. 8)

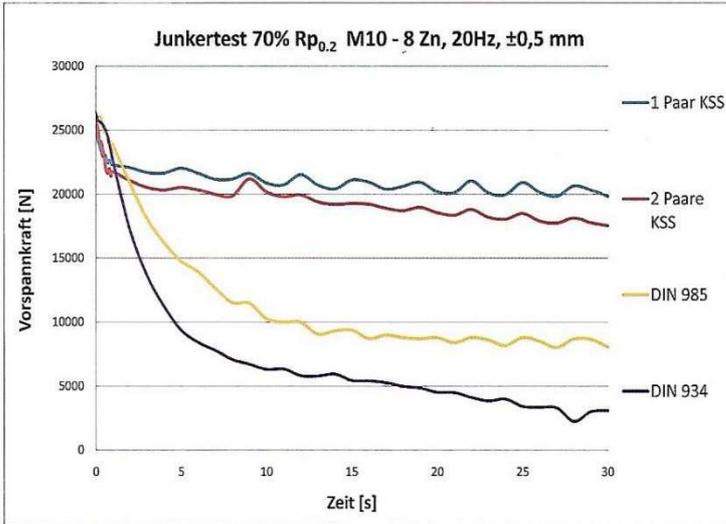


Bild 6

Junkertest – verschiedene Varianten der Keilsicherungsscheiben (KSS) und Vergleich mit DIN 985 und 934

gen) Sicherungselemente und geteilten Federscheiben die größte Abhängigkeit von der Prüfmethode, also von der Art der wechselnden Belastung, aufweisen. Relativ universell, obwohl nur auf durchschnittlichem Niveau, scheinen die radial wirkenden (kraftschlüssigen) Sicherungselemente (DIN 985 oder auch z. B. „Vargal“-Mutter) zu sein. Die formschlüssigen Sicherungselemente sind auch bei geschmierten Oberflächen im Vorteil. Auf der anderen Seite hinterlassen sie auf den Kontaktflächen hässliche Abdrücke.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Die Vibrationsbeständigkeit der Verbindungselemente ist stark vom Typ der veränderlichen Belastung abhängig. Jeder Konstrukteur sollte bei der Wahl der Sicherungsmaßnahmen sehr vorsichtig sein. Wichtig sind die Betriebsbedingungen, unter denen die zukünftige Konstruktion beansprucht wird. Die entsprechenden Maßnahmen müssen daraus resultieren.
2. Die Resultate der Laborprüfungen hängen auch von einzelnen Versuchsparametern ab. Es sind dabei nicht nur die aufgebrauchte Frequenz und die Amplitude, sondern auch das Anziehdrehmoment, der Reibungskoeffizient, der Durchmesser und eventuell auch

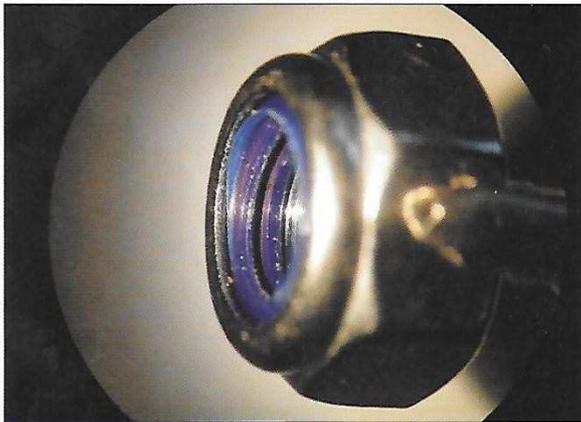


Bild 7

Die Degradation des Nylonringes der Sicherungsmutter DIN 985

Typen der formschlüssigen Sicherungen untereinander. Ein Bemühen um Objektivität ist in [5] festzustellen, leider ist es nur beim Versuch geblieben; zumindest das Kapitel „Sichern von Schraubenverbindungen“ entspricht nicht dem aktuellen Stand der Technik.

Zusammenfassung

Aufgrund der gewonnenen Kenntnisse wurde versucht, eine möglichst objektive Beurteilung der am häufigsten verwendeten Sicherungselemente durchzuführen. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Es wurde gezeigt, dass die axial wirkenden (formschlüssi-

Federscheiben DIN 127 oder in der Literatur korrekte Verkormuttern. Selten findet man gleiche zwischen verschiedenen



Bild 8

Ausgebeultes Befestigungsloch auf der Felge des Automobilrades



Bild 9

Ermüdungsbruch einer Schraube

Sicherungsmethode		Prüfmethode laut Bild 1		
Name/Abbildung	kritische Parameter	A	B	C
KSS 	zu viele Trennfugenflächen, Abdrücke auf Kontaktflächen	▲	in Abhängigkeit von Amplitude	▼
profilierte Scheiben 	dito weniger als KSS	▲	in Abhängigkeit von Amplitude	
profilierte Flansch-elemente 	Beschädigung der Kontaktflächen	▲	in Abhängigkeit von Amplitude	
DIN 985 	Temperatur-empfindlichkeit, Wiederholbarkeit	▶	▶	▶
DIN 127 	die Streuung der Eigenschaften, viele Trennfugeflächen	▶	in Abhängigkeit von Amplitude	▼

▲ – exzellente Sicherungswirkung, ▶ - durchschnittliche Wirkung
▼ (- Voraussetzung) – schwache bzw. keine Sicherungswirkung

Tabelle 2

Der Sicherungseffekt der Verbindungselemente

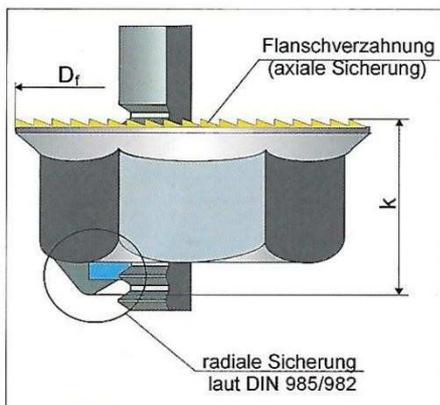


Bild 10

Mutter mit kombinierter axialer und radialer Sicherungswirkung

die Temperatur gemeint. Darum gilt: Endgültige Resultate liefert nur die Praxis. Trotzdem haben simulierte Prüfungen ihre Bedeutung, weil sie viele nützliche Informationen liefern.

3. Die ideale Schraubensicherung wäre die Kombination von Sicherungselementen mit radialer und axialer Wirkung. Für potentielle Hersteller ist eine solche Konstruktion in Bild 10 dargestellt.

Literatur

- [1] Bauer, C. O. und Koll.: Handbuch der Verbindungstechnik, Carl Hanser Verlag, 1991
 [2] VDI 2230 – Richtlinie, 2003
 [3] Dominik, J.: Technologie der Gewindeverbindungen, Ferodom 2008
 [4] Sawa, T. and Koll.: „Experimental Evaluation of Screw Thread Loosening ...“, In: Hard Lock Technical Reports, 2007, Vol. 2
 [5] Illgner, K. H.; Esser, J.: Schraubenvademecum, Textron Verbindungstechnik, 2001