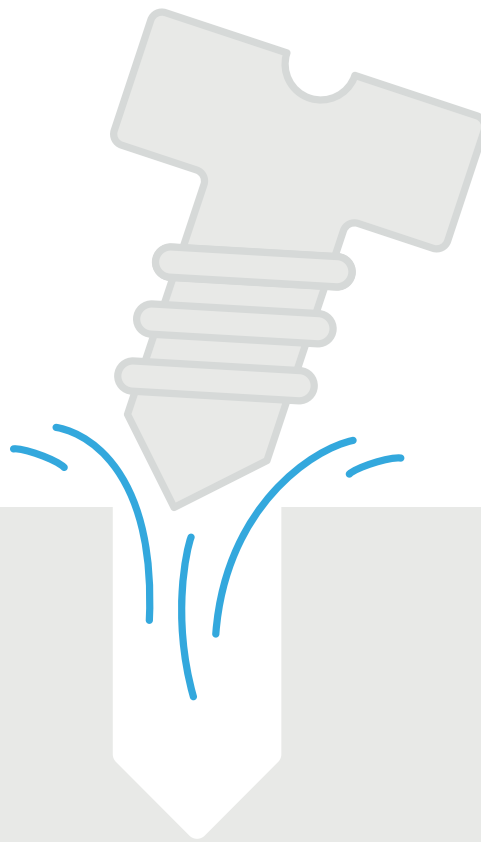




Stopp das ungewollte Lockern von Verbindungen

White Paper

Stopp das ungewollte Lockern von Verbindungen

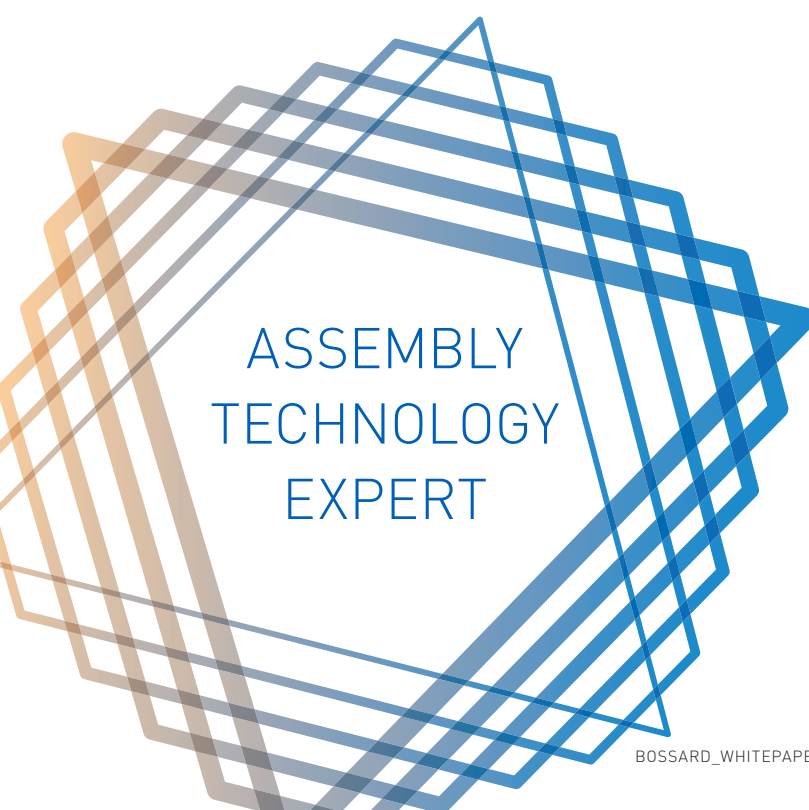
von Michael Kaas

Bossard Expert Team,
Bossard United States

www.bossard.com

Alle Rechte vorbehalten © 2020 Bossard

Die erwähnten Empfehlungen und Hinweise sind im praktischen Einsatz durch den Leser hinreichend zu überprüfen und für deren Anwendung als geeignet zu erklären. Änderungen vorbehalten.



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

STOPP DAS UNGEWOLLTE LOCKERN VON VERBINDUNGEN

Einleitung

Wir alle kennen es, Schrauben und Muttern lockern sich mit der Zeit – sei es am Fahrrad oder an einem Brillenbügel. Doch was ist die Ursache dafür? Und wie lässt sich das Lockern vermeiden?

Dazu müssen wir erst einmal mehr über die Funktion der jeweiligen Verbindung wissen und darüber, wie die Gewinde von Verbindungselementen miteinander interagieren. Ausserdem müssen wir die entstehenden Spannungen untersuchen, um zu begreifen, wodurch die Lockerung überhaupt verursacht wird. Nur dann können wir die besten Lösungen zur Minimierung oder Vermeidung von Lockerungen bestimmen. Durch das Anziehen entsteht Reibung am Gewinde des Befestigungselements und an den entsprechenden Auflageflächen. Genau diese Reibung soll anschliessend auch die Lockerung der angezogenen Verbindungselemente vermeiden. Wenn also Reibung die Verbindung zusammenhalten soll, wie kommt es dann überhaupt zur Lockerung?

Die Verbindung

Im Idealfall widersteht eine Verbindung den dynamischen Kräften und etwaiges Lockern wird völlig vermieden. Die Verbindungselemente sollten dazu bis zur entsprechenden Vorspannung angezogen werden und Schraubverbindungen sollten ausschliesslich Zugkräften ausgesetzt sein. Denn dynamische Kräfte können zu einer Lockerung führen. Um das Lockern von Verbindungselementen zu vermeiden, sollte bei der Konstruktionsplanung dafür gesorgt werden, dass ein Abgleiten der montierten Elemente aufgrund von Querbelastungen

ausgeschlossen wird. Die Klemmlänge ist hierbei von grosser Wichtigkeit. Verbindungselemente, deren Klemmlänge weniger als das Fünffache ihres Gewindedurchmessers beträgt, können in der Regel nicht elastisch reagieren. Sie sind sehr steif und ihre Rüttelfestigkeit ist gering. Wenn möglich, sollte die Bauweise der Verbindung angepasst werden, um eine Klemmlänge zu erhalten, die fünf Mal so gross ist, wie der Gewindedurchmesser. Schraubverbindungen dieser Art reagieren weit aus elastischer und verfügen über eine bessere Rüttelfestigkeit. Dies ist jedoch bei den meisten Anwendungen nur schwer erreichbar.

Äussere Kräfte

Um eine spätere ungewollte Lockerung zu vermeiden, muss der Konstrukteur die äusseren Kräfte bestimmen. Diese äusseren Kräfte entscheiden, ob die Verbindung die notwendige Reibung auf Dauer aufrechterhalten kann oder ob andere Vorsichtsmassnahmen gegen potenzielles Lockern ergriffen werden sollten. Äussere Kräfte lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: statische und dynamische Kräfte.

Dynamische Kräfte

Dynamische Kräfte können auf verschiedene Art verursacht werden – durch die Ausrüstung selbst, durch Mutter Natur oder das Umfeld der Verbindung. Wenn dynamische Kräfte auftreten, hilft die Reibung am Gewinde und an den Auflageflächen dabei, die Verbindung festzuhalten. Bei standardmässigen Maschinenschraubengewinden entsteht die Reibung nur auf einer Seite des Gewindes, während an den hinteren Flanken eine Lücke bleibt. Wenn die auftretenden Kräfte gross genug sind, kann sich die Reibung in den Gewinden dramatisch verringern, wodurch nur noch die Reibung der Auflagefläche des Schraubenkopfes oder der Mutter übrig bleibt, um eine Lockerung der Verbindung zu vermeiden. the forces are great enough, friction in the threads can drop dramatically leaving only the friction of the bearing area of the screw head or nut to keep the joint from loosening.

Statische Kräfte

Wenn der Verbindungsaufbau nur statischen Kräften ausgesetzt wird, kommt es in der Regel nicht zur Lockerung. Allerdings werden Produkte häufig auf dem Seeweg mit Frachtschiffen transportiert, die konstanten Vibrationen ausgesetzt sind, verursacht durch deren grosse Dieselmotoren und spürbar im gesamten Frachtraum der Schiffe. Schraubverbindungen können sich aufgrund dieser Vibrationen lockern. Es kommt vor, dass Montagen völlig auseinanderfallen, weil Schrauben oder Muttern sich gelockert oder losgedreht hatten und letztendlich herausfielen.

Reibung

Oft auch Reibungskoeffizient genannt (RK). Das Ausmass der verursachten Reibung hängt von den verwendeten Werkstoffen und Beschichtungen ab. Manche Werkstoffe, wie Edelstahl und Aluminium, verursachen eine hohe Reibung, während Stahl üblicherweise über eine zusätzliche Beschichtung verfügt, die den Reibungskoeffizienten bestimmt. In Beschichtungsmaterialien werden oft reibungssenkende Additive verwendet, um den RK zu steuern und dadurch Streuungen während des Anziehens zu vermeiden und die Klemmlast zu steuern. Das bringt uns in eine Zwickmühle: Durch das Verwenden von reibungssenkenden Additiven können wir in der Regel die korrekte Klemmlast und dadurch das maximale Potenzial der Verbindungselemente erreichen. Gleichzeitig senken wir dadurch jedoch den RK, wodurch sich das Risiko einer Verbindungslockerung durch dynamische Kräfteauswirkung erhöht. Wenn wir das volle Potenzial der Klemmlast eines Verbindungselements ausnutzen, und dadurch so viel Kraft wie möglich auf die Gewindeflanken und Auflageflächen ausgeübt wird, kann die Verbindung grössere dynamische Kräfte aushalten. In einigen Fällen, wenn in weichere Materialien, wie Plastik, Aluminium etc., geschraubt wird, ist dies jedoch nicht immer möglich. Daher müssen andere Vorkehrungen gegen das Lockern ergriffen werden.

STOPP DAS UNGEWOLLTE LOCKERN VON VERBINDUNGEN

Kopfausführung

Flach-/Halbflachkopf mit Bund

Durch die Verwendung von breiteren Köpfen, wie Flach- oder Halbrundköpfen mit Bund, entsteht mehr Reibung zwischen dem Kopf und der Oberfläche des Gegenstücks. Dadurch reduziert sich auch der Oberflächendruck auf die Auflageflächen, wodurch ein Setzen der Schraubenverbindung vermieden wird, und die grössere entstehende Reibung führt wiederum zu einer höheren Sicherung der Verbindung gegen dynamische Kräfte.

Säge-/Sperrzahl-Flanschkopf

Durch das Verwenden von Sägezähnen/Sperrzähnen auf den Auflageflächen eines Flanschkopfes entsteht eine Losdrehsicherung. Während des Anziehens graben sich diese Zähne in die Oberfläche des Gegenstücks ein, wodurch eine hohe Sicherung erzeugt wird. Bei dieser Art von Schraubensicherung kann es zur Beschädigung der Gegenstückoberfläche kommen, vor allem wenn diese lackiert ist.

Wenn Sperrzahnschrauben verwendet werden, muss auch die entsprechende Gegenmutter über Sägezähne verfügen, damit an allen Verbindungsschnittstellen hohe Reibung besteht. Ausserdem sollten zusammen mit Sägezahnprodukten keine Unterlegscheiben verwendet werden.



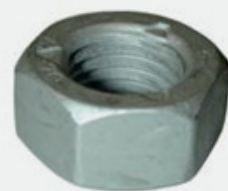
Muttern

Alternativ zu Sägezähnen, die Reibung an den Auflageflächen erzeugen, kann mithilfe von Muttern eine Losdrehsicherung mittels Gewinde geschaffen werden. Oft werden Muttern jedoch falsch eingesetzt, wodurch es zu Lockerungen kommen kann. „Muttern mit Klemmteil mit metallischem oder

nichtmetallischem Einsatz“. Dieser Name selbst kann irreführend sein, da diese Muttern oft auch einfach als „Sicherungsmuttern“ bezeichnet werden. Indem ein Polyamidring oder eine metallische Verformung des Gewindes eingeführt wird, wird ein Reibungsverlust der Verbindung vermieden. Muttern mit Klemmteilen sind jedoch nicht in der Lage, ungewolltem Lösen durch Rotationsenergien zu widerstehen. Das Klemmteil verläuft nie über die gesamte Höhe dieser Muttern. Der Klemmeffekt beschränkt sich auf einige wenige Gewindesteigungen auf der Oberseite der Mutter, während der Rest des Muttergewindes freilaufend bleibt.



Wenn die dynamischen Kräfte gross genug sind, um die Vorspannung der Verbindung zu verringern, verhindert diese Art von Losdrehsicherung den völligen Verlust der Mutter, aber ein leichtes Drehen und ein weiterer Verlust der Vorspannung können nicht verhindert und ohne Nachziehen kann keine Abhilfe geschaffen werden. In solchen Fällen kann es zum Verschieben der Verbindungselemente und schliesslich zum Ermüdungsversagen kommen. Bei der Verwendung von Muttern mit Klemmteil ist ausserdem die Notwendigkeit einer späteren Wiederverwendbarkeit zu berücksichtigen, da der Sicherungseffekt nach jeder Wiederverwendung abnimmt.



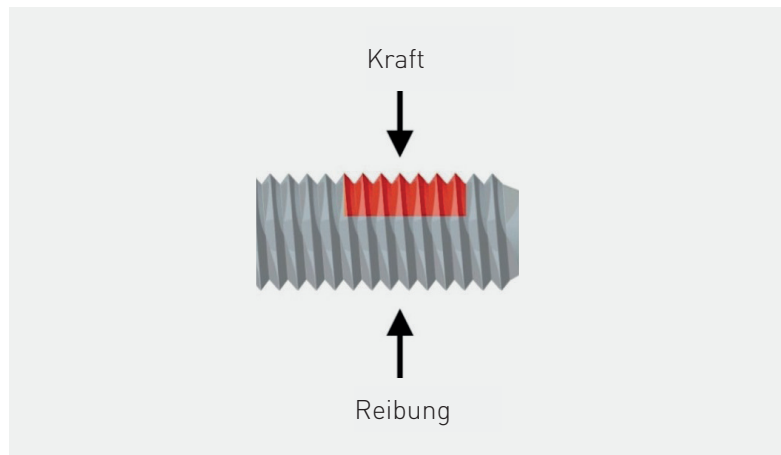
STOPP DAS UNGEWOLLTE LOCKERN VON VERBINDUNGEN

Merkmale der Gewindesicherung

Polymer-Fleckbeschichtung

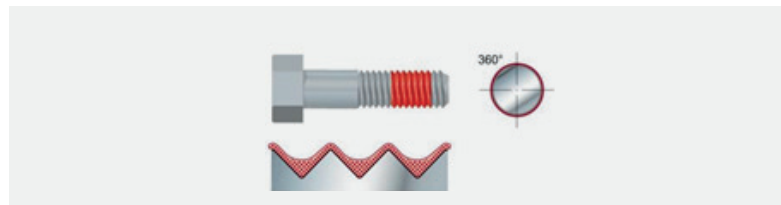
Nichtmetallische Klemnteile werden aus Polyamid hergestellt. Dabei handelt es sich um einen thermoplastischen Kunststoff, der bei Erhitzung auf über 120°C weich wird. Ab dieser Temperatur verschwindet auch der Sicherungseffekt. Klemnteile für Gewinde werden normalerweise hergestellt, indem eine lokale Polyamidbeschichtung in Form eines feinen Pulvers auf eine vorgegebene erhitzte Gewindefläche geblasen wird. Durch die hohe Temperatur der Gewindeoberfläche weicht die Pulverschicht sofort auf und verklebt sich mit dem Gewinde der Schraube. Es bleibt so ein kleiner, weicher Polyamid-Fleck auf dem Gewinde der Schraube zurück, der beim Einschrauben in das Gegengewinde eine klemmende Wirkung erzeugt. Eine bereits lockere Schraube kann sich somit nicht weiter durch Eigendrehung lösen.

Wenn die Schraube während der Beschichtung gedreht wird, bildet sich eine Polyamid-Rundumschichtung. Dadurch wird nicht nur eine Klemmwirkung erzielt, das Gewinde wird auch gleichzeitig versiegelt – dies ist vor allem bei solchen Schraubverbindungen wichtig, die für das Versiegeln von Behältern gedacht sind. Die Polyamidbeschichtung kann direkt auf ihre vorgesehene Einsatzfläche aufgetragen werden, d. h. dort, wo die externen/internen Gewinde greifen. Die Dicke des Überzugs kann bis zu einem bestimmten Grad angepasst werden und dadurch auch dessen Klemmwirkung. Üblicherweise werden 2–3 Gewindesteigungen am Ende des Gewindes unbeschichtet belassen. Dadurch kann die Schraube ohne Anfangsschwierigkeiten in das Gegengewinde geschraubt werden. Schrauben mit Klemnteilen werden oft als Einstellschrauben verwendet.



Selbstklebende Fleckbeschichtung

Spiel im Gewinde zwischen normalen Schrauben und Muttern bzw. Innengewinden kann auch durch die Verwendung von sogenannten „selbstklebenden Patches“ vermieden werden. Während der Montage füllen diese Produkte die Zwischenräume aus, härten dort aus und verhindern das Abgleiten der Gewindeflanken aneinander. Die Reibung wird somit beibehalten und die Schrauben/Muttern sind rüttelfest. Das vollständige Aushärten kann bis zu 72 Stunden dauern, aber in den meisten Fällen besteht die Sicherung bereits nach kurzer Zeit. Daher sollte ein Nachziehen solcher Verbindungselemente nach der Montage vermieden werden, da dies die Sicherungswirkung beeinträchtigen kann. Aus dem gleichen Grund sollten auch Klebstoffsicherungen nur einmal verwendet werden. Wenn eine Demontage nötig wird, müssen Verbindungselemente dieser Art entsorgt werden. Selbstklebende Patches stellen immer eine Rundumsicherung dar, wodurch auch eine versiegelnde Wirkung erzielt wird. Bei ihrer Verwendung ist Vorsicht walten zu lassen, da ihr Haftvermögen der Kraft der Verbindungselemente entspricht. Wenn die Sicherungswirkung des Patches sehr stark ist, kann dies zum Bruch der Verbindungselemente führen.



Unterlagsscheiben

Unterlegscheiben gehören zu den Verbindungselementen, die keine direkte Verbindungsfunktion haben. Weltweit treten immer wieder Anwendungsfehler bei Unterlegscheiben auf, da die Kraft von Verbindungen durch diese Fehler oft verringert bzw. das Risiko einer Lockerung bei dynamischen Verbindungen oft erhöht wird.

Flache Unterlagsscheiben

Im Zusammenhang mit unserer Zielgebung können Unterlegscheiben (bei korrekter Anwendung) dabei helfen, den Oberflächendruck auf weiche Materialien zu verringern, wodurch wiederum ein, durch Setzen der Schraube verursachter, Verlust an Klemmlast minimiert werden kann. Die Auflagefläche von Unterlegscheiben ist in der Regel grösser als die von Schrauben bzw. Muttern. Durch die höhere Berührungsfläche entsteht ein höherer Reibwiderstand. Dadurch dreht sich der Schraubenkopf während des Anziehens ausschliesslich auf der Unterlegscheibe und nicht die Unterlegscheibe auf dem Werkstück. Somit wird das weichere Material geschützt und das Risiko einer Lockerung durch dynamische Kräfte wird reduziert. Je nach Festigkeitsklasse des gewählten Verbindungselements muss eine Unterlegscheibe von entsprechender Härte verwendet werden. Das Verwenden falscher Unterlegscheibenhärten kann in der Tat das Risiko einer Lockerung erhöhen, und wenn das Material zu weich ist, um den Schraubenkopf zu stützen, kommt es zu dessen Setzen.



Federringe

Es wird allgemein oft irrtümlich angenommen, dass Federringe das Risiko des Losdrehens verringern würden. In den meisten Fällen ist diese Annahme jedoch falsch. Der Zweck von Federringen ist es, den durch ein Setzen verursachten Klemmlastverlust zu reduzieren. Wenn sie also korrekt verwendet werden, nimmt das Risiko durch dynamische Krafteinwirkung tatsächlich ab. Die Kraft solcher Federringe wird jedoch oft überschätzt und ein noch höheres Lockerrisiko infolge eines Setzens und/oder durch dynamische Kräfte entsteht.

Was ihre Kraft betrifft, sind Federringe jedoch nur in der Lage, Klemmlasten zu widerstehen, die von Verbindungselementen mit einer Festigkeitsklasse von 5,8 verursacht werden (wenn das volle Potenzial der Verbindungselemente ausgeschöpft wird). Wenn Federringe zusammen mit solchen Verbindungselementen eingesetzt werden, reduzieren sie den Verlust an Klemmlast, was wiederum zur Reduzierung des Risikos einer Lockerung durch dynamische Kräfte führt. Die meisten Federringkanten sorgen ausserdem auf weichen Oberflächen für eine mechanische Sperre, wodurch die Sicherungswirkung insgesamt verbessert wird.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Effizienz von Federringen sehr niedrig oder gar inexistent ist, wenn sie mit wärmebehandelten Verbindungselementen von 8,8 (Grad 5) oder höher verwendet werden. Die Federrate des Rings ist dazu zu niedrig und seine Kanten können sich nicht in die harte Oberfläche des Verbindungselements graben. Bei Verwendung mit Verbindungselementen von hoher Festigkeit erhöhen sie sogar das Risiko, da der Ring unter hohen Belastungen zerdrückt werden und brechen kann.



Fächerscheiben

Hierbei handelt es sich nicht um Sicherungsscheiben. Ihre Funktion ist einzig und allein das Unterstützen der elektrischen Leitfähigkeit. In der Tat werden sie häufig bei Erdungsanwendungen eingesetzt, wie bei Autobatterien. Die verwundenen Zähne der Scheibe könnten eine Sicherungsfunktion suggerieren, in Wirklichkeit können Scheiben dieser Art dem während der Montage auf sie ausgeübten Druck aufgrund ihrer Bauform häufig nicht standhalten. Dadurch erhöhen sich das Risiko des Setzens und somit auch das Lockerungsrisiko. Obwohl ihre Zähne die Reibung auf weichen Materialien erhöhen könnten, ist die Oberflächenhärte der meisten Verbindungselemente (ab Festigkeitsklasse 8,8) zu hoch, um eine effiziente Sicherung zu bewirken. In einigen Fällen kann durch sie bei Verbindungselementen bis zur Klasse 6,8 eine gewisse Sicherung erzielt werden, da dort der Oberflächendruck und die Klemmlast sehr gering sind.



Gerippte Scheiben

Gerippte Scheiben weisen mindestens auf einer Seite Zähne auf. Gemeinsam mit der Gewindereibung verhindert die Reibung auf den Auflageflächen eine spontane Losdrehung der Schrauben bzw. Muttern, indem die Reibung zwischen den Auflageflächen erheblich erhöht wird.

Ihre Rippen (Zähne) sind dazu gedacht, sich sowohl in den Auflageflächen der Gegenstücke als auch der Schrauben bzw. Muttern zu verankern und einer Lösung zu widerstehen. Wie auch Spannscheiben aus Federstahl und Federringe sind gerippte Unterlegscheiben dazu da, ein Risiko eines Setzens zu verringern. Wie bei flachen Unterlegscheiben gibt es auch verschiedene Arten von gerippten Scheiben, die je nach ihrer Funktion auch verschiedene Formen aufweisen. Federringe mit Rippen verfügen über einen äusseren Durchmesser, der ungefähr so gross ist, wie der Durchmesser der Auflagefläche der Schraube bzw. Mutter. Sie sind auf beiden Seiten gerippt.

Federringe des Typs Rip-Lock verfügen über einen weitaus grösseren Aussendurchmesser. Diese bedecken grosse Spannlöcher und Längslöcher. Der Kopf der Schraube oder Mutter liegt immer auf der gerippten Seite auf. Die Unterseite dieser Scheiben ist nicht gerippt. Der grosse Scheibendurchmesser verursacht genug Reibung auf dem Gegenstück, dass ein Drehen der Scheibe vermieden wird.



Nord-lock

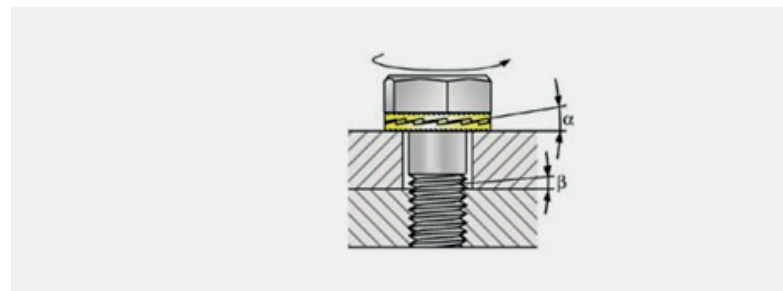
Nord-Lock-Scheiben stellen eine besondere Art der gezahnten Sicherungsscheiben dar. Diese Unterlegscheiben kommen immer paarweise vor, um gemeinsam für die Sicherung zu sorgen. Die äusseren Oberflächen sind gerippt und greifen auch in den härtesten Materialien, während die inneren Oberflächen über präzisionsgeschliffene Keifflächen verfügen.

Wenn eine Schraube bzw. Mutter angezogen wird, bleiben die Keifflächen zwischen den zwei Sicherungsscheiben geschlossen und die beiden Scheiben bleiben in engem Kontakt. Wenn die Schraube Vibrationen ausgesetzt wird und dadurch versucht, sich loszudrehen, dreht sich die obere Scheibe und entfernt sich leicht von der unteren. Dadurch, dass jedoch der Winkel der Keifflächen stets grösser als die Gewindesteigung ist, wird ein Losdrehen der Schraube zuverlässig vermieden und die Klemmlast erhöht sich sogar leicht während dieser Drehbewegung. Nord-Lock-Scheiben können sehr häufig wiederverwendet werden. Um die von ihnen benötigte Klemmlast zu erreichen, ist ein leicht höheres Drehmoment nötig. Empfehlungen diesbezüglich finden Sie im Bossard-Katalog.

Die Original-Nord-Lock-Scheiben verhindern im Gegensatz zu konischen Schraubensicherungen mit Rippen die Entspannung nicht. Vor kurzem hat Nord-Lock jedoch konisch gerippte Nord-Lock-Scheiben vorgestellt, die ausser den vorherigen Eigenschaften auch noch Entspannungen reduzieren.

Alle hier erwähnten Schraubensicherungen:

- müssen zur Sicherung sowohl auf der Seite der Schrauben als auch der Muttern verwendet werden
- können auch mit gehärteten Verbindungselementen verwendet werden. Jedoch können nur Nord-Lock-Scheiben bei Verbindungselementen der Festigkeitsklasse 12,9 verwendet werden und diesen widerstehen.

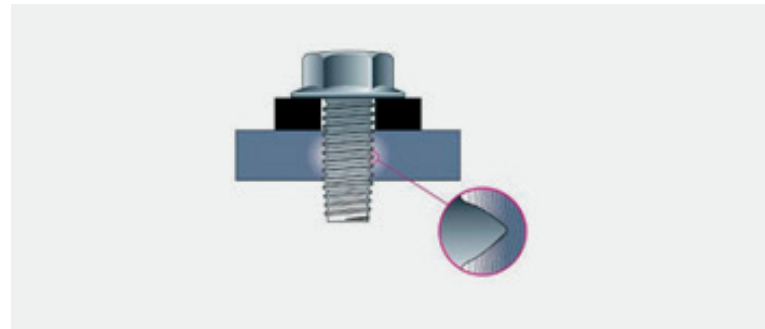


Gewindefurchschaube

Indem das Spiel zwischen den Gewinden eliminiert wird, können sich Gewindefurchschauben unter Einwirkung von dynamischen Kräften (Vibrationen) nicht losdrehen. In der Regel besteht zwischen Gewindepaaren von Schrauben und Muttern immer ein gewisses Spiel. Gewindefurchschauben bilden hingegen beim Einschrauben in das Werkstück ihr eigenes inneres Gegengewinde und es besteht somit keinerlei Spiel.

Auch wenn die montierten Stücke intensiven Vibrationen ausgesetzt werden, können die Gewindeflanken nicht aneinander abgleiten. Die bestehende Gewindereibung wird komplett aufrechterhalten, wodurch zusätzliche Sicherungselemente nicht benötigt werden. Die Rüttelfestigkeit wird auch nach einer Demontage und erneuten Remontage aufrechterhalten. Gewindefurchschauben werden immer ohne Muttern und bei Montagen mit Grundbohrungen oder Durchgangsbohrungen verwendet. Da Gewindefurchschauben so rüttelfest sind, werden sie sehr erfolgreich von Entwicklungsingenieuren für Maschinen und Ausrüstungsgegenstände eingesetzt, die starken Erschütterungen und Vibrationen ausgesetzt sind.

Gewindefurchschauben können für allgemeinen Baustahl, Leichtmetalllegierungen und die meisten Kunststoffe verwendet werden, wobei für jedes Material passende Gewindeformen angewandt werden. Empfehlungen bezüglich der Lochweiten und Gewindelängen, die für die Gewährleistung einer guten dynamischen Sicherung nötig sind, finden Sie im technischen Abschnitt des BossardKatalogs.



STOPP DAS UNGEWOLLTE LOCKERN VON VERBINDUNGEN

Zusammenfassung

Es gibt keine Allround-Lösung, die für jede Art von Verbindungsanordnung geeignet ist. Entwicklungsingenieure müssen die Möglichkeit einer Lockerung der Verbindungen kalkulieren/schätzen. Entwicklungsingenieure müssen bei jeder Anwendung Faktoren wie physikalische Kräfte, Materialien, Sicherheit, Aufbau, Wiederverwendbarkeit, Montage etc. bei der Wahl der entsprechenden Verbindungselemente berücksichtigen.



Wenn Sie noch Fragen zum Thema ungewolltes Lockern von Schraubenverbindungen haben, können Sie sich jederzeit direkt an uns wenden. Wir sind Ihnen gerne behilflich. Kontaktieren Sie uns unter: www.bossard.com.