

---

# Das Festfressen von Verbindungselementen aus edlem Stahl

White Paper

# Das Festfressen von Verbindungselementen aus edlem Stahl

---

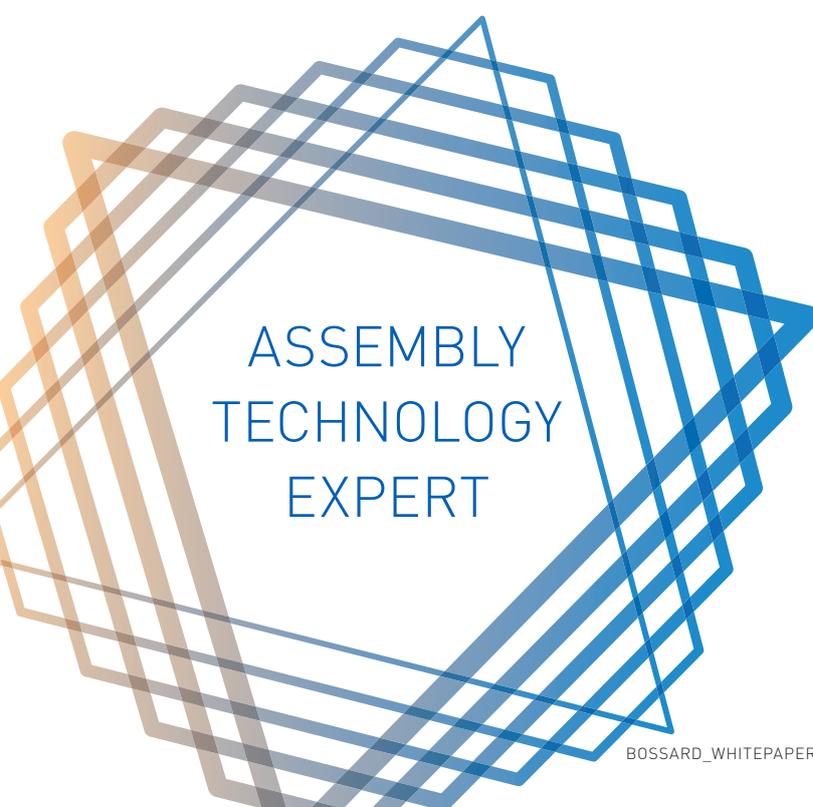
von Bossards Experten Team

Bossard Group

[www.bossard.com](http://www.bossard.com)

Alle Rechte vorbehalten © 2023 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

## DAS FESTFRESSEN VON VERBINDUNGSELEMENTEN AUS EDELEM STAHL

### Einleitung

Aus Edelstahl, Aluminium und Titan hergestellte Verbindungselemente sind beim Anziehen häufig von einer Kaltverschweißung, dem sogenannten Festfressen, betroffen. Verbindungselemente aus Edelstahl sind in austenitischen, ferritischen und martensitischen Ausführung verfügbar. In der Industrie werden vorwiegend Verbindungselemente aus austenitisch gehärtetem Edelstahl verwendet. Edelstähle sind mit einer Chromoxydschicht gegen Korrosion oberflächengeschützt.

Wenn zwei Verbindungselemente zusammengefügt werden, wird zwischen dem Bolzen und der Mutter ein Oberflächendruck aufgebaut, wodurch die Oxydschutzschicht entfernt oder geschädigt werden kann. Der hohe Reibungswiderstand zwischen den Oberflächen der Verbindungselemente kann dazu führen, dass es an den Stellen, wo die Schutzoberfläche abgetragen wurde und das Grundmetall freiliegt, zu einem Festfressen kommt, das als Kaltverschweißung bezeichnet wird. Ein höherer Reibungskoeffizient erhöht die Gefahr des Festfressens erheblich.

Die unsachgemäße Montage bewirkt ein Anfressen und Abrieb an den Gewinden, wodurch die Verbindungselemente beim Anziehen blockieren und die Gewinde dadurch Schaden nehmen. Man bezeichnet diesen Vorgang auch als Kaltverschweißung (Reibschluss) der Gewindeflanken.

Dieser Vorgang tritt dann ein, wenn unterschiedlich wärmebehandelte Edelstähle und mechanischen Eigenschaften über einen längeren Zeitraum an den Gewindeflanken in Kontakt stehen. Die folgende Grafik veranschaulicht das Montageverhalten von sieben unterschiedlichen Edelstählarnten. Sie zeigt auf, dass die Montagezeit bis zum Festfressen bei einer bestimmten Last zwischen 7 und 58 Sekunden liegen kann.



Bild 1: Festgefressenes Verbindungselement

| Typ   | Bedingung      | urspr. Härtegrad | Oberflächenbehandlung | Anziedrehmoment (lbs) | Festfresszeit (in Sek.) |
|-------|----------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 416   | wärmebehandelt | 43 Rc            | keine                 | 400                   | 12                      |
| 416   | wärmebehandelt | 43 Rc            | Nitriert (Tufftride)* | 1000                  | 37                      |
| 440C  | wärmebehandelt | 59 Rc            | keine                 | 800                   | 17                      |
| 440C  | wärmebehandelt | 59 Rc            | Nitriert (Tufftride)* | 1100                  | 41                      |
| 440A  | getempert      | 96 Rb            | keine                 | 650                   | 15                      |
| 440A  | getempert      | 96 Rb            | Nitriert (Tufftride)* | 1000                  | 47                      |
| 303   | getempert      | 85 Rb            | keine                 | {preload}             | 3                       |
| 303   | getempert      | 85 Rb            | Nitriert (Tufftride)* | 750                   | 25                      |
| 303MA | getempert      | 88 Rb            | keine                 | 300                   | 2                       |
| 303MA | getempert      | 88 Rb            | Nitriert (Tufftride)* | 1350                  | 58                      |
| 317   | getempert      | 85 Rb            | keine                 | 500                   | 7                       |
| 317   | getempert      | 85 Rb            | Nitriert (Tufftride)* | 750                   | 27                      |
| 347   | getempert      | 89 Rb            | keine                 | 600                   | 8                       |
| 347   | getempert      | 89 Rb            | Nitriert (Tufftride)* | 500                   | 22                      |

Tabelle 1: Vergleich der Werkstoffeigenschaften hinsichtlich der Kaltverschweissung

## DAS FESTFRESSEN VON VERBINDUNGSELEMENTEN AUS EDELEM STAHL

# Ursachen der Kaltverschweissung

In diesem Abschnitt werden mehrere Ursachen des Festfressens und die Vorbeugemassnahmen unter den entsprechenden Rahmenbedingungen erläutert.

### Drehmoment und Festfressgefahr

Die VDI 2230 (Richtlinien Verein Deutscher Ingenieure – Verbindungstechnik) empfehlen, dass Schrauben nur einer Beanspruchung von bis zu 90 % ihrer Streckgrenze ausgesetzt werden sollen. Falls das Anzugsdrehmoment zu hoch liegt, kann die Schraube überzogen oder gar zum Bruch gebracht werden. Schrauben können auch durch Scherkräfte beim Anziehen infolge zu hoher Reibung in den Gewindeflanken brechen.

Der Reibungskoeffizient bei Edelstahl auf Edelstahl ist im Vergleich zu anderen Materialkombinationen verhältnismässig hoch. Um dieselbe Vorspannung zu erreichen, müssen austenitische Edelstähle der Klasse A1 bis A4 mit einem höheren Anzugsdrehmoment angezogen werden, als gewöhnliche Stahlschrauben gleicher Festigkeit.

Falls ein Festfressen eintritt, erhöht sich das Anzugsdrehmoment und die Montage-Vorspannung wird nicht erreicht. Manchmal erhöhen die Monteure das Anzugsdrehmoment, um das Verbindungselement richtig anzuziehen, ohne sich bewusst zu sein, dass dabei ein Festfressen auftreten kann. Solche Fehler werden beim Anziehen kaum wahrgenommen und sind von aussen nicht sichtbar. Bei Reparatur- oder Wartungsarbeiten stellt man dann fest, dass die Verbindungselemente nicht mehr gelöst werden können.

Beim Auftreten einer Kaltverschweissung lösen sich weder Schraube noch Mutter und diese gehen dadurch auch nicht verloren. Doch Schraubverbindungen, die nicht richtig angezogen wurden, können unter Betriebslast einer Materialermüdung unterliegen.

Das Schmieren von Verbindungselementen aus Edelstahl vor dem Verschrauben oder Verbindungselemente mit einer tribologischen Oberflächenbeschichtung und Schmiereigenschaften haben sich als effiziente Lösung gegen Festfressen erwiesen (lesen Sie mehr unter "Vorbeugung gegen Festfressen" im Abschnitt unten).

### Herstellungsgefahren und Kaltverschweissung

Die Gewindeoberfläche kann bei Betrachtung mit blossen Auge eben aussehen. Bei näherer Betrachtung unter dem Mikroskop kann das Gewinde jedoch Faltenbildungen an den Gewindekuppen aufweisen. Dieser Fehler tritt auf, wenn die Walzbacken nicht richtig eingestellt werden. Stumpfe Gewindekuppen verringern die Gewindeformungseigenschaften bei gewindefurchenden Schrauben.

Das Innengewinde einer Sicherungsmutter kann vergleichbare Anomalien aufweisen, was zu einem Anfressen bei Gewindepaarungen führt. Diese Fehlerarten werden als "unsichtbare" Fehler eingestuft. Fabrikanten sind bei der Herstellung von gewindeformenden und gewindefurchenden Verbindungselementen aus denselben Gründen besonders vorsichtig. Das Erzeugen von Gewindegraten (veranschaulicht in Bild 2) während dem Gewinderollen ist einer der Hauptgründe für das Auftreten einer Kaltverschweissung.



Bild 2: Gewindegrat

## Befestigungselemente und die Festfressgefahr bei hohen Temperaturen

Gasturbinen und Dieselmotoren sind Maschinen, die typischerweise hohen Betriebstemperaturen ausgesetzt werden. Hohe Temperaturen können die physischen Eigenschaften eines Materials verändern. Infolge hoher Temperaturen kann die Freisetzung von aggressiven Gasen zu Abschuppungen auf der Oberfläche von Schrauben und Muttern führen. Thermische Ausdehnung kann zu einer dauerhaften Verkrümmung führen. Unabhängig von äusseren Einflüssen muss die Vorspannung bei im Einsatz befindlichen Verbindungen stets erhalten bleiben. Darüber hinaus müssen die Befestigungselemente für Unterhalts- und Reparaturarbeiten lösbar sein.

Ein Festfressen kann auch dann auftreten, wenn Befestiger und Befestigungsteile aus unterschiedlichen Materialien gefertigt sind.

Der Maschinenbauingenieur sollte die Einwirkungen von hohen Temperaturen bei der Auslegung von Verbindungen stets miteinbeziehen.

Beispiele (Bild 3) für die Dehngrenze bei hohen Temperaturen für einige wärmeresistente Schraubenwerkstoffe:

- **Ck 35: Steel**
- **24CrMo 5: Niedriglegierter Stahl**
- **X5 NiCrTi 2615: Austenitischer Edelstahl**
- **NiCr 20 Co 18 Ti: Nickel-Chrom-Kobalt-Legierung mit Titanium**

Hohe Temperaturen sowie Relaxation sind oft die Quelle für ein Festfressen bei Wartungs- und Reparaturarbeiten. Zur Vermeidung, dass Gewinde dem Festfressen unterliegen, verfügen Gewinde von hitzebeständigen Schrauben über ein erhöhtes Gewindenspiel.

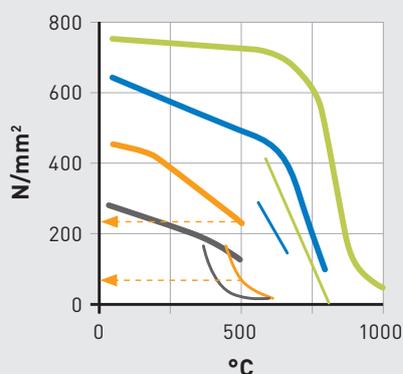


Bild 3: Dehngrenze/Temperatur



Bild 4: Hitzebeständige Verbindungselemente

## DAS FESTFRESSEN VON VERBINDUNGSELEMENTEN AUS EDELEM STAHL

# Vorbeugung gegen das Festfressen

### Herstellungsverfahren

Während des Herstellungsverfahrens kann der Draht gegen das Kaltverschweißen zur Schmierung mit Kupfer beschichtet werden. Die Kupferbeschichtung wirkt als stabiler Schmierstoff auf dem Draht. Nach dem Gewinderollen wird diese durch Abbeizen vom Verbindungselement entfernt.

### Deckschicht

Das Festfressen kann verringert oder vermieden werden, wenn das Aufliegen von Metall auf Metall in der gewählten Gewindepaarung vermieden wird.

- Schmierung mit "Molylub". Feste Molybdändisulfid-Partikel verhindern die Berührung zwischen den Metallen und verringern den Abrieb. Manchmal ist die Anwendung von Schmieröl oder -pasten nicht ausreichend, um eine Festfressgefahr vorzubeugen.
- Ähnliche Schmiermittel mit festen Silber-, Aluminium- oder Kupferpartikeln sind gleichermassen hilfreich. Diese Schmiermittel helfen dabei, den Reibungskoeffizienten zu verringern. Die meisten dieser Anti-Friction-Pasten, die an den Fließbändern angewendet werden, enthalten solche Feststoff-Partikel. Schmiermittel, die Graphit enthalten, sind nicht empfehlenswert, da Kohlenstoff und Chrom bei hohen Temperaturen gefährliche Reaktionen auslösen können.
- Ein dünnes Teflon-Abdeckband kann Schutz gegen Festfressen bieten. Bei grossen verschraubten Komponenten, wie Röhren und Ventilen, können die Gewinde dieser Teile mit einem dünnen Teflon-Abdeckband versiegelt werden.

Beschichtungen aus Polyseal, Xylan®, Delta®-Seal oder Wachs können bei Verbindungselementen aus Edelstahl den fressenden Verschleiss ebenso verhindern.



Bild 5: Mit Kupfer beschichteter Draht

## Tribologische Beschichtung

Fluorpolymerbeschichtungen bestehen aus einer Mischung aus Harzen und Fluorpolymer-Schmierstoffen. PTFE, PVDF, PFA und FEP verringern die Reibung, erhöhen den Schutz gegen Korrosion und chemische Einwirkungen, reagieren wasserabweisend und behalten die haftungsabweisenden Eigenschaften für Temperaturen von bis zu 288 °C bei.

Bei den Gleitlacken handelt es sich um eine tribologische Trockenbeschichtung für mechanisch belastete Verbindungselemente und -komponenten (Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben usw.). Die Beschichtung besteht aus einer dünnen Schicht, die nicht elektrolytisch aufgetragen wird und schmierende sowie korrosionshemmende Eigenschaften aufweist.

Die Beschichtung besteht aus einer Verbindung von Fluorpolymeren und festen organischen Schmierpartikeln, die mit ausgewählten synthetischen Harzen und Lösungsmitteln versehen werden. Sie wird als AF-Beschichtung (Anti Friction Coating) bezeichnet, denn sie bildet einen feinen Schutzfilm, der sämtliche Oberflächenunebenheiten ausgleicht und damit die Reibung selbst unter extremen Belastungen und Arbeitsbedingungen optimiert. Synthetische Harze verbessern die Korrosionsbeständigkeit erheblich.

Eine dünne trockene Schmierstoffschicht, die fest auf der Trägerschicht haftet, bildet nach dem Aushärten einen Schutzfilm. Dieser Film dient als Trennschmierstoffschicht, wodurch die Reibung und Verschleiß zwischen den beiden Reibungselementen erheblich verringert wird.

Die tribologischen Oberflächenbeschichtungen bieten eine optimale Lösung für zahlreiche Anwendungen, die einen genau festgelegten Reibungskoeffizienten sowie einen effektiven Schutz gegen Verschleiß und Abrieb bieten. Die tribologischen Eigenschaften von Gleitlack-Beschichtungslösungen verringern das Auftreten von Kaltverschweißung bei Verbindungselementen. Oberflächenbeschichtungen helfen auch dabei, die vorgeschriebenen Anzugsdrehmomente beizubehalten und die korrekten Montagevorspannkräfte zu erreichen.

Zunehmend werden Gesamtlösungen mit einem Beschichtungskonzept für gezielte Leistungsmerkmale eingesetzt. Insbesondere sind diverse Grundschichten mit Deckschichten im Angebot (z.B. Zinklamellen-Beschichtungssysteme). Sogenannte Anti-Friction-Coatings mit Reibwertvorgaben werden sinnvollerweise durch den gleichen Beschichter appliziert. Für Reibwertfenster mit tribologischen Beschichtungen sind vorgängig die Bedürfnisse zwingend abzufragen.

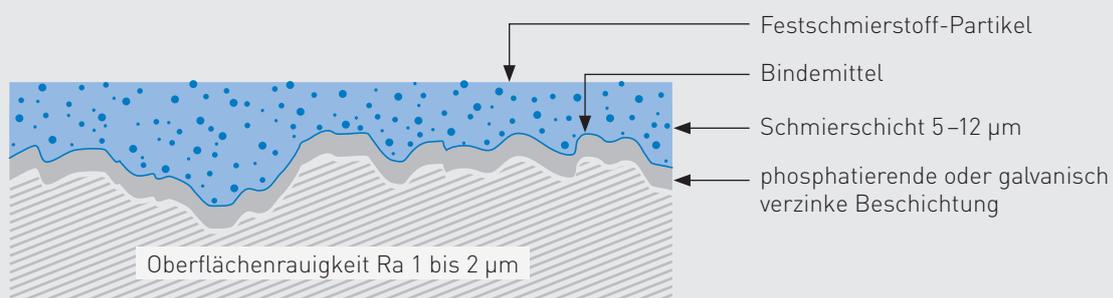


Bild 6: Strukturaufbau der Gleitlack-Beschichtung

## DAS FESTFRESSEN VON VERBINDUNGSELEMENTEN AUS EDELEM STAHL

# Zusammenfassung

---

Die Beschichtungstechnologie ist im Wandel und muss sich den regulierten Rahmenbedingungen der jeweiligen Marktregion anpassen. Bossard greift hierbei auf die Expertisen der Chemiehersteller, ihren Lizenznehmern und lokalen Beschichtern zurück. Zunehmend werden Systemlösungen mit passender Grund- & Deckschicht für gezielte Leistungsmerkmale in der Beschichtungstechnik bevorzugt eingesetzt.

Verbindungselemente aus Edelstahl sind bei der Montage von einer möglichen Kaltverschweißung betroffen. Eine exzessive Reibung und Erhitzung während des Anziehens bewirkt eine Verformung der Oberflächen und führt zu einem Anfressen der Gewindepaarung. Die Verwendung von Schmiermitteln oder intelligenten Oberflächenbeschichtungslösungen, Fachkenntnisse bei der Gewindeformung, angemessene Montagedrehzahl der Installationswerkzeuge, Sauberkeit der Teile sowie angemessene Verbindungsauslegung führen zu einer Verringerung oder einer vollständigen Eliminierung des Festfressens.

Wird der Vermeidung des Festfressens genügend Beachtung geschenkt, dann erweisen sich Schraubverbindungen aus Edelstahl auf Grund ihrer Rostbeständigkeit und generell höheren Dehnbarkeit im Vergleich zu herkömmlichem Baustahl als überaus nützlicher Schraubenwerkstoff.

## Bibliografie

Budinski, K. G (1991). Tribological Properties of Titanium Alloys. *International Conference on Wear of Materials*.

Producers, C. o. (1978). Review of the Wear and Galling Characteristics of Stainless Steel. *American Iron and Steel Institute*, 2-19.



Wenn Sie noch Fragen haben, können Sie sich jederzeit  
direkt an uns wenden. Wir sind Ihnen gerne behilflich.  
Kontaktieren Sie uns unter: [www.bossard.com](http://www.bossard.com).