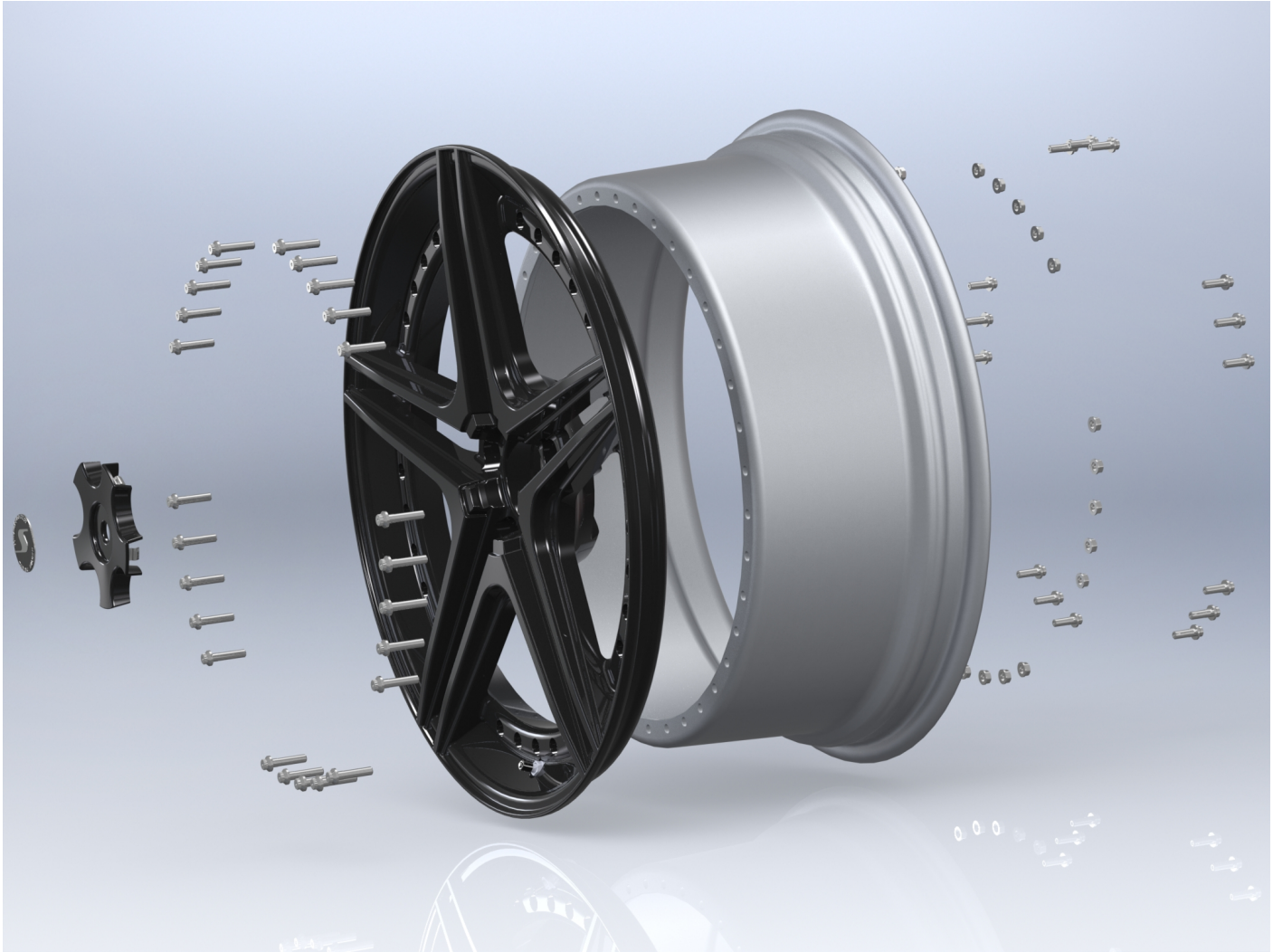
Sicherheitshinweis zum Schraubfall Verbundräder



Dichtverbindungen werden zunehmend mit Drehmomentschlüssel angezogen. Leider werden die erforderlichen Drehmomente sehr häufig aus den Anforderungen für die Dichtung festgelegt, statt die Schrauben mit ca. 70% hoch auszulasten. Es ist nicht selten, dass Tabellen Montagedrehmomente vorgeben, die gleiche Schrauben bei weichen Dichtungen (Gummi) nur zwischen 7 und 15% und bei harten Dichtungen (Elastomer gebundene Fasern/FA-Material) bis zu 90% ihrer Streckgrenze auslasten würden. Niedrig vorgespannte Schrauben sind immer der Gefahr des selbsttätigen Lösens ausgesetzt.

Eine Kontrolle des Montageergebnisses wird häufig über ein Weiterdrehmoment vorgesehen. Mit dieser attributiven Prüfung kann nur festgestellt werden ob die Schrauben lose oder fest ist. Der Drehmomentschlüssel funktioniert nur aus gleichmäßiger Drehung. Weiter ist festzustellen, dass wegen der erforderlichen Überwindung der Losbrechmomentes aus der Ruhereibung und der Tatsache, das Steuer- und Kontrollgröße gleich sind, kein validierbares Ergebnis erzeugbar ist. Es gilt also:

Kontrolle eines Drehmomentes über ein Weiterdrehmoment ist nicht möglich und nicht zulässig!

SOFTWARE HARDWARE SERVICE

Messen von Weiterdrehmomenten

Prüfparameter richtig ermitteln und bewerten

Zur Bewertung der Prozesssicherheit ist es notwendig, einen Nachweis über das während der Montage aufgebrachte Drehmoment zu erbringen. Am einfachsten geht dies, indem das Drehmoment direkt während der Montage gemessen wird. Dazu wird ein rotierender Drehmoment-Sensor zwischen dem Abtriebsvierkant des Schraubers und dem Antriebsvierkant der Stecknuss angebracht und die gemessenen Drehmoment- und/oder Drehwinkel-Werte direkt an ein Messgerät übertragen.

Es gibt jedoch Montageprozesse, bei denen diese Methode z. B. aus Platzgründen nicht anwendbar ist. In diesen Fällen ist das sogenannte Weiterdrehen eine gängige Methode, die Montagedrehmomente zu überprüfen. Dabei wird nach erfolgter Montage der Schraube in einem späteren Arbeitsschritt ein Drehmomentschlüssel auf die bereits montierte Schraube aufgesetzt und diese „ein kleines bisschen" weitergedreht.

Motek

10.-13.10.2011
Neue Messe Stuttgart
Halle 1 / Stand 1660

Der SCHATZBRIEF
Ausgabe 02/2011

Informationen aus der Praxis für die Praxis.

SCHATZ®
ADVANCED QUALITY

Aber stimmen die hierbei ermittelten Werte mit den tatsächlich in der Montage aufgebrachten Werten überein?
Zunächst einmal erscheint es logisch, dass die Schraube mit dem gleichen Drehmoment weitergedreht werden muss, mit dem sie auch montiert wurde. Das setzt allerdings voraus, dass sich durch das Aufbringen des Drehmomentes in der Schraubverbindung nichts verändert hat. Der Umstand, dass im europäischen Ausland vom „residual torque“ oder vom „couple residuell“ gesprochen wird, was soviel heißt wie „verbleibendes Drehmoment“, verstärkt diese Annahme scheinbar zusätzlich.

Was passiert aber mit dem einmal in die Schraubenverbindung eingebrachten Drehmoment?
Tatsache ist, dass das Montagedrehmoment in dem Moment auf Null zurückgeht, in dem der Schrauber oder der Schlüssel von der Schraube genommen wird. Das Drehmoment, welches aufgebracht wurde, steckt in der Schraube als Vorspannkraft, welche die Schraube gedehnt hat wie eine Feder, und ist als Wärme in Folge der Reibung zwischen den Teilen verpufft. Hinzu kommt, dass in der Praxis unterschiedliche Prüfer, eventuell sogar mit unterschiedlichen Werkzeugen, die Prüfungen durchführen. Von diesen mag jeder Einzelne ein Spezialist auf seinem Gebiet sein, die Ergebnisse der Prüfungen werden jedoch immer „ein bisschen“ unterschiedlich sein.

Können diese Effekte durch den Einsatz eines messenden Drehmomentschlüssels unterbunden werden?
Auch bei Verwendung eines messenden Drehmomentschlüssels ist nicht sichergestellt, dass die gleichen Reibungsbedingungen vorherrschen, wie während der Montage. Da die Reibungszahl der Schraube stark von Drehgeschwindigkeit und Temperatur abhängt, ist zu erwarten, dass sich die Reibeigenschaften geändert haben und das Weiterdrehmoment sich zum Teil erheblich vom Montagedrehmoment unterscheidet.

Die VDI Richtlinie 2230 (Systematische Berechnung hoch beanspruchter Schraubenverbindungen) definiert diesen Effekt folgendermaßen: „Das Nachziehdrehmoment ist dasjenige Moment, das benötigt wird, um nach abgeschlossenem Verschraubungsvorgang die Schraube weiter zu drehen. Es unterscheidet sich von dem Sollanziehdrehmoment um den Nachziehfaktor, der - je nach Art der Schrauber, der Reibungs- und Elastizitätsverhältnisse - zwischen 0,85 und 1,30 schwanken kann.“

Toleranzen in diesen Größenordnungen können jedoch nicht mehr belegen, ob eine Schraube innerhalb +/- 10% montiert wurde oder nicht.

Welche zusätzlichen Faktoren müssen also berücksichtigt werden, um das Weiterdrehen verlässlicher zu machen?
Ein Effekt, der auftritt, wenn eine bereits montierte Schraube weiter gedreht wird, ist das Losbrechmoment.
Der Messverlauf im Bild 1 zeigt zwei Drehmomentkurven. Die erste Kurve zeigt den Montageprozess, mit dem die Schraube montiert wurde. Die zweite Kurve zeigt den Messverlauf beim Weiterdrehen dieser Schraubverbindung mit einem Drehmomentschlüssel. Dabei fällt die kurze Drehmomentsteigerung auf, bevor sich die Schraube dreht. Dieser Effekt ist auf den Übergang von der Haftreibung in die Gleitreibung zu erklären. Wie oben bereits erwähnt ist die Reibung zwischen Schraube und montierten Teilen dafür verantwortlich, welches Drehmoment nun aufgebracht werden muss, um die Schraube weiter zu drehen.
Der physikalische Effekt des Überganges zwischen Haft- und Gleitreibung wird in der Schraubverbindung noch dadurch verstärkt, dass eine extrem hohe Presskraft unter dem Schraubenkopf wirkt und dazu führt, dass sich die Moleküle zwischen Schraubenkopf und verschraubten Teilen verbinden. Wird nun mit einem Drehmomentschlüssel ein Moment aufgebracht, so muss zunächst dieser Verband zerstört werden, was zu einem höheren Drehmoment führt und dann erst dreht sich die Schraube weiter mit der Gleitreibung.

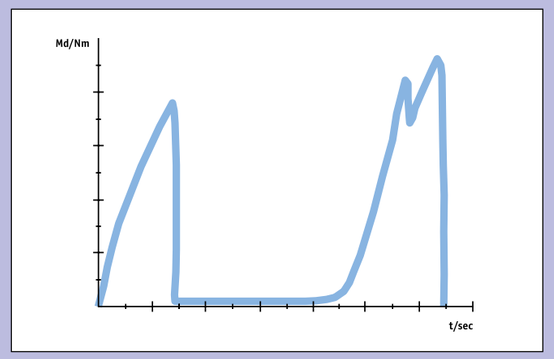


Abbildung 1: Die Messkurve von Anziehmoment und Weiterdrehmoment zeigt beim Weiterdrehen ein deutliches Losbrechmoment.

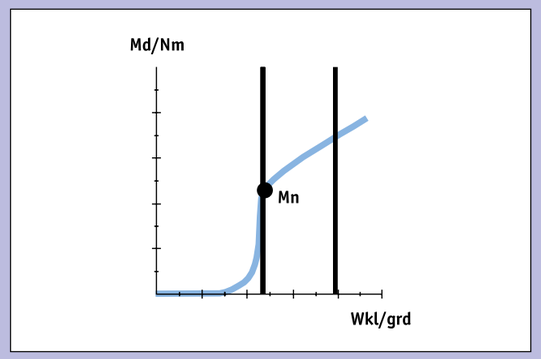


Abbildung 2: Das Weiterdrehmoment entspricht dem kleinsten Drehmoment innerhalb eines Winkelintervalles.

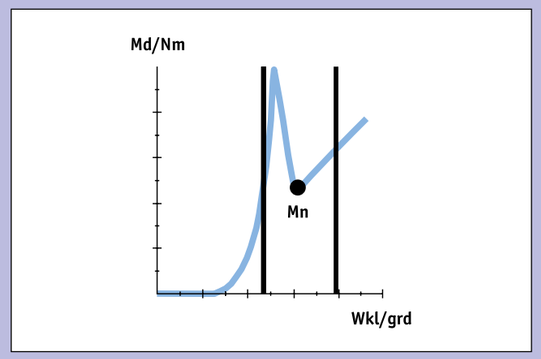


Abbildung 3: Haftreibungseffekte führen zu einem Losbrechmoment, das nicht als Weiterdrehmoment gewertet werden darf.

Montageparameter und Weiterdrehmomente

Warum unterschiedliche Toleranzen verwendet werden

Aus diesem Grund sind Werkzeuge, die nur den Spitzenwert ermitteln, das heißt das höchste Drehmoment auswerten, nicht zur korrekten Ermittlung des Weiterdrehmomentes geeignet.
Dennoch zeigt die Grafik deutlich, dass auch das Drehmoment unmittelbar nach dem Losbrechen nicht dem Montagedrehmoment entspricht, da, entsprechend den Schilderungen im Absatz zuvor, immer noch nicht sicher gestellt ist, dass die Verhältnisse beim Nachziehen mit denen identisch sind, wie sie bei der Montage vorlagen.
Bei der Bewertung der Prozesssicherheit durch Weiterdrehmomente muss beachtet werden, dass sich die ermittelten Werte von den Montageparametern unterscheiden. Die Montageparameter können weitaus umfassender sein, als die Prüfparameter für das Weiterdrehen, da die Montageparameter nicht nur das Drehmomentfenster beschreiben, in das montiert werden soll, sondern das komplette Montageverfahren.
Neben den Toleranzen für das Montagedrehmoment ergibt sich so die gesamte Auflistung der Montageparameter: Untere Toleranzgrenze des Montagedrehmomentes, obere Toleranzgrenze des Montagedrehmomentes, untere Toleranzgrenze des Voranziehmomentes, obere Toleranzgrenze des Voranziehmomentes, untere Toleranzgrenze des Drehwinkels, obere Toleranzgrenze des Drehwinkels, Aufdrehmoment (bei furchenden Schrauben oder Muttern mit Klemmteil).
Die Weiterdrehmomente, das heißt, die ermittelten Drehmomente, die entstehen, wenn eine bereits montierte Schraube mit einem Hand-Drehmomentschlüssel weiter gedreht wird, müssen jedoch in der Praxis vor Ort vom Anwender ermittelt werden. Das bedeutet auch, dass die Prüfparameter für das Weiterdrehen der Schraube oder Mutter nicht in einem direkten Zusammenhang zu den Drehmomentvorgaben der Montageparameter stehen.

Wie bereits erwähnt, können die Weiterdrehmomente höher liegen oder niedriger als die Drehmomente, mit denen die Schraubverbindung vorher montiert wurde. Darüber hinaus streuen die Weiterdrehmomente stärker als die Montagedrehmomente, so dass die Indizes für eine Prozessfähigkeit mit anderen Grenzwerten berechnet werden müssen, als die der Montagedrehmomente. Normalerweise kann davon ausgegangen werden, dass die Weiterdrehmomente höher liegen, als die Montagedrehmomente, da die Schraubverbindung weiter gedreht wird.

Ist es auch möglich, dass die Drehmomente beim Weiterdrehen niedriger sind als die Montagedrehmomente?
Wenn der Nachweis erbracht ist, dass mit dem Drehmomentwerkzeug im Montageprozess die richtigen Drehmomente aufgebracht wurden, liegt in diesen Fällen wahrscheinlich ein Setzverhalten vor. Das heißt, dass die aufgebaute Vorspannkraft auf Grund eines Fließverhaltens der Fügeteile nachlässt und somit auch ein niedrigeres Drehmoment beim Weiterdrehen ermittelt wird. In diesem Fall muss mit der Konstruktion geklärt werden, ob das Setzverhalten bei der konstruktiven Auslegung der Schraubverbindung schon vom Konstrukteur berücksichtigt wurde oder ob Maßnahmen ergriffen werden müssen und durch einen weiteren Nachziehvorgang nach dem Setzverhalten die Vorspannkraft erneut aufgebaut werden muss.
Um die Prüfparameter für einen neuen Schraubfall zu erfassen, muss der Anwender zunächst 100 Messwerte erfassen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass keine systematischen Einflüsse die Statistik beeinflussen wie Schicht, Schraubenchargen, Bediener und Verschraubungsprozess.
Für diese Ermittlung der Toleranzgrenzen muss ein Test auf Normalverteilung der Daten durchgeführt werden und es muss sichergestellt werden, dass keine Ausreißer mit bewertet werden. Dazu muss ein Ausreißertest durchgeführt werden. Bei der Ermittlung der Toleranzgrenzen für die Weiterdrehmomente kann die Charakteristik der Werte von denen der Montagedrehmomente abweichen. Die Form der Verteilung sowie die Lage des Mittelwertes müssen nicht mit den ermittelten Daten der Montagedrehmomente übereinstimmen.

In welchen Fällen ist das Weiterdrehen ungeeignet?
Für Schraubverbindungen, die überelastisch montiert wurden, darf kein Weiterdrehmoment ermittelt werden, da die Gefahr einer Überbeanspruchung der Schraubverbindung besteht. In diesem Fall muss die Schraubverbindung mit anderen Methoden überprüft werden, zum Beispiel durch eine Messung der bleibenden Längung der Schraube.
Auch bei Verwendung von chemischen Schraubensicherungsmitteln, wie zum Beispiel Mikroverkapselungen, darf kein Weiterdrehmoment ermittelt werden. Die Sicherungsmittel verhärten bereits während des Montagevorganges. Ein Weiterdrehen würde dazu führen, dass die chemische Schraubensicherung zerstört wird und gegebenenfalls ihre Funktion nicht mehr erfüllt.

Zudem haben Erfahrungen gezeigt, dass die Ermittlung der Weiterdrehmomente innerhalb verschiedener Fertigungswerke durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, dass jede Fertigungsstätte unabhängig voneinander die Weiterdrehmomente und die Toleranzen der Weiterdrehmomente bestimmt.

Fazit: Die Ermittlung des Weiterdrehmomentes eignet sich als Prüfmethode für das Audit oder für sonstige Kontrollen. In der Fertigung sollte das Verfahren nur dort eingesetzt werden, wo eine direkte Messung der Montageparameter nicht möglich ist.
Als zusätzliche Maßnahme kann das Weiterdrehen zum Beispiel im Falle nachgewiesenen Setzverhaltens wertvolle Erkenntnisse für die Konstruktion liefern darüber, ob Maßnahmen ergriffen werden müssen und durch einen weiteren Nachziehvorgang nach dem Setzverhalten die Vorspannkraft erneut aufgebaut werden muss.

Ganz klein oder ganz groß?

Das universelle SCHATZ®-ANALYSE System ist in seinen unterschiedlichen Ausführungen auf die jeweiligen Ansprüche des Kunden zugeschnitten.
Prüfungen nach internationalen Normen oder unter realistischen Bedingungen wie im Montageablauf können an verschiedensten Verbindungselementen durchgeführt werden. Manchmal ganz klein – und manchmal eben auch ganz groß.

So können spezielle Schrauben und Muttern aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrt ab Schraubengröße M2 mit dem Laborsystem auf ihre Funktion geprüft werden. Die vertikale Ausführung des Prüfstands in Verbindung mit entsprechenden Sensoren lässt die Prüfung kleinster Verbindungselemente zu. „Etwas“ größer geht es da schon bei Verbindungselementen zu, die zum Beispiel bei der Montage von Windkraftanlagen zum Einsatz kommen.

So konnte jetzt ein Laborsystem zur Erfassung von Drehmoment, Drehwinkel, Vorspannkraft und Gewindemoment an Verbindungselementen bis M72 mit einer Schraubenlänge von bis zu 700 mm bei einem maximalen Anziehdrehmoment von 40 kNm, einer maximalen Vorspannkraft von 4 MN und einem maximalen Gewindemoment von 25 kNm realisiert werden.

Trotz großer Dimensionen, hoher Kraft und großem Gewicht ist das System „einfach“ in der Handhabung. Über Verschiebeschlitten und die Möglichkeit, kleinere Sensoren einfach „vorzustecken“, ist die Mechanik leicht bedienbar.

Auf Softwareseite ermöglichen bestehende Prüfvorlagen, so genannte Prüfvorschriften geringste Rüstzeiten und eine Prüfung „auf Knopfdruck“.

Verbindungselemente bis M72 …

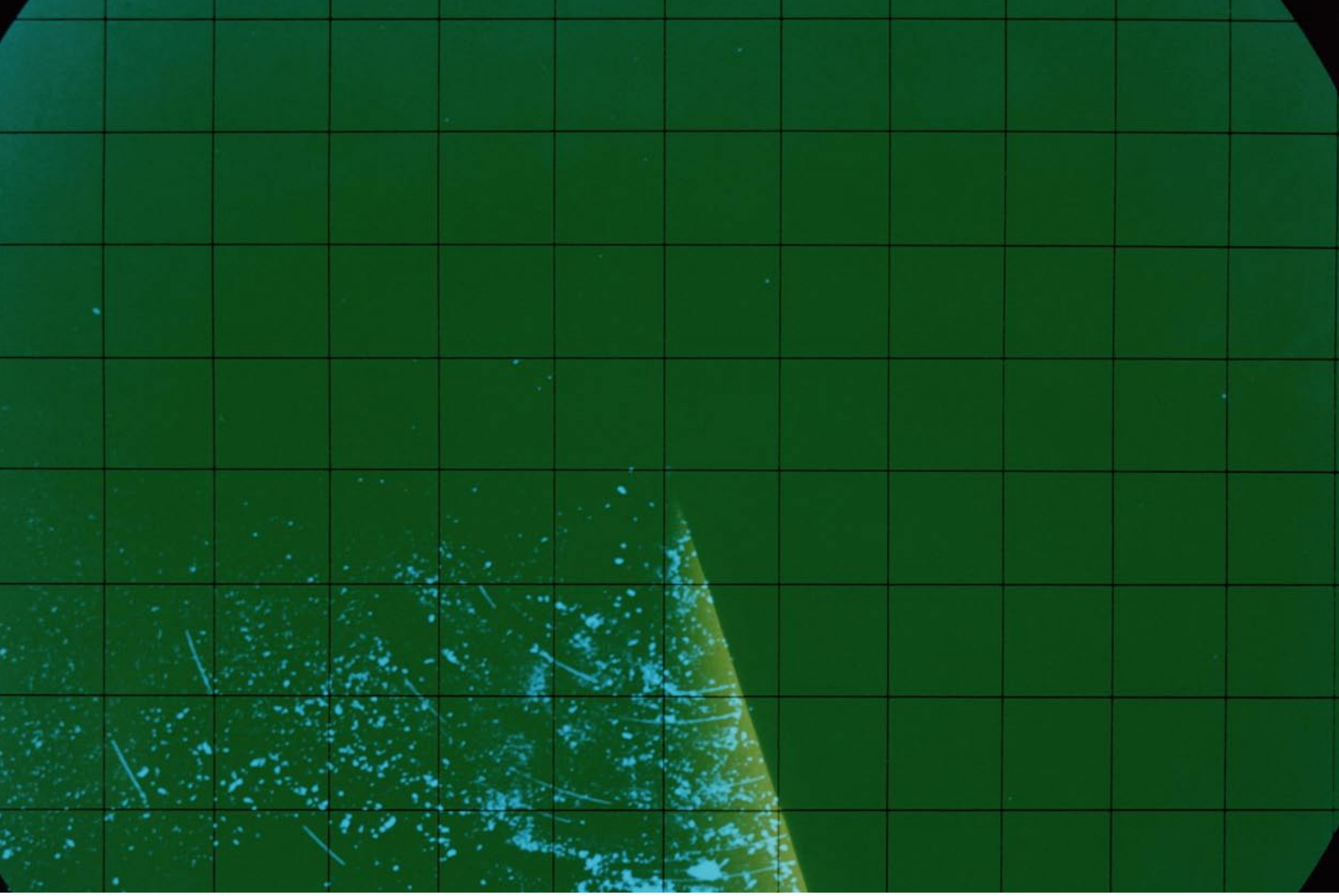
… oder ab M2

Ganz fest oder ganz flexibel?

Neben der Prüfung des Materials, zum Beispiel mit unserem SCHATZ®-ANALYSE-System, und der Methode, etwa durch direkte Überwachung des Schraubvorgangs in der Montage oder durch das sogenannte Weiterdrehen, unterliegt auch die Maschine, das heißt das Werkzeug, mit dem verschraubt wird, hohen Qualitätsanforderungen.
Bei der Kalibrierung oder Zertifizierung eines Schraubsystems ist es notwendig, dass die Prüfungen unter reproduzierbaren Bedingungen erfolgen.
Diese Bedingungen erfüllt der mobile Prüfstand zur Prüfung und Einstellung von Druckluft-, Impuls- und Elektroschraubern nach ISO 5393 sowie zur Prüfung von Hand-Drehmomentschlüsseln (Knickschlüsseln) SCHATZ®-TEST.
Immer wieder ergeben sich dabei Prüfungssituationen, die mit der Standard-Version des Prüfstandes nur schwer handhabbar sind. Zum Beispiel die Prüfung von Schraubspindeln, die aufgrund ihrer Größe und der Lage des Abtriebs nur schwer von Hand auf dem entsprechenden Simulator zu halten sind. Für diesen speziellen Fall wurde jetzt ein TEST-System mit einer verschiebbaren Spindelhalterung realisiert, bei dem die zu prüfenden Spindeln oberhalb der eingebauten Simulatoren arretiert werden können.
Die andere Variante – sozusagen das flexible Gegenstück zu dieser „festen“ Lösung – ist der Mobiltest mit Handlingsystem und externem Simulator.
Dieser ermöglicht in der Montagelinie Prüfungen bis 250 Nm von Schraubern und Schraubanlagen, die fest montiert sind und nicht oder nur mit hohem Aufwand ausgebaut werden können.
Beide Systeme ermitteln während der Messung Drehmoment, Drehwinkel und Drehzahl. Alle Messwerte werden während der Prüfung am Bildschirm angezeigt und anschließend in der Systemsoftware CEUS ausgewertet.

Flexible Prüfung

Fester Halt



Niederlassungen
mit Reparatur- / Kalibrier-Service:
Frankreich, USA

Vertretungen
mit Reparatur- / Kalibrier-Service:
Großbritannien, Korea, Taiwan, China

Vertretungen:

Argentinien, Benelux, Brasilien, Indien, Italien, Japan, Mexiko, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Tschechische Republik, Türkei

Fordern Sie auch weitere Informationen unserer Bereiche

SOFTWARE HARDWARE SERVICE

unter: www.schatz.ag

SCHATZ®
ADVANCED QUALITY

SCHATZ AG
Postfach 11 06 69
42866 Remscheid

Kölner Straße 71
42897 Remscheid
GERMANY

Telefon +49 (0) 2191 698-0
Telefax +49 (0) 2191 600-23

info@schatz-mail.de
www.schatz.ag