



Hydraulische Drehmoment-schlüssel

....Alles dreht sich um die richtige Vorspannung

In verschiedenen Industriezweigen wird an (schwere) Bolzenverbindungen hohe Anforderungen gestellt. Hierfür sind Präzisionswerkzeuge erforderlich, welche einerseits eine optimale Verbindung garantieren, vor allem jedoch eine präzise Vorspannung im Bolzen. Hydraulisch angetriebene Drehmomentschlüssel sind ein ideales Werkzeug für diesen Zweck. In diesem Artikel erfahren Sie mehr über die zugrundeliegenden Prinzipien der hydraulischen Drehmomentschlüssel, die verschiedenen Anpassungsmöglichkeiten und vor allem darüber, worauf Sie bei der Benutzung achten müssen.

Trotz einer ganzen Reihe neuer Verbindungstechniken spielen Bolzen und Mutter noch stets eine äußerst wichtige Rolle im Tief- und Werkzeugbau. Denken Sie hierbei an den Offshore-Bereich (Bohrinseln), die chemische Industrie, den Maschinenbau und das Verlegen von Rohrleitungen. Ein wichtiger Vorteil der Bolzen-/Mutterverbindung besteht nämlich in der Möglichkeit, die Verbindung für Wartung und Reparatur wieder lösen zu können und die damit verbundenen Maschinen- oder Konstruktionselemente wieder auseinander zu nehmen.

■ Hohe Anforderungen

Vor allem in der Schwerindustrie muss eine derartige Bolzenverbindung aus Sicherheitsgründen bestimmte und mitunter sehr hohe Anforderungen erfüllen. So muss vollständige Sicherheit über die Betriebsstärke der Verbindung bestehen. Und obwohl in den Handbüchern (Wieder-)Montage, Benutzung, Wartung und Betriebsbedingungen beschrieben sind, wird an keiner Stelle deutlich, ob diese Anforderungen erfüllt werden.

Zahlreiche Konstrukteure entscheiden sich deshalb aus Sicherheitsgründen dafür, entweder mehr oder schwerere Bolzen zu verwenden als unbedingt erforderlich. Es ist allerdings besser, einen Drehmomentschlüssel zu benutzen, mit dem die Bolzen-/Mutterverbindung, in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Konstrukteurs, mit der richtigen Vorspannung im Bolzen kontrolliert festgezogen werden kann. Und wenn es um Drehmomente von 2000 Nm oder mehr geht, stellt der hydraulische Drehmomentschlüssel hierfür das universellste Werkzeug dar.

■ Der Drehmomentschlüssel

Der Drehmomentschlüssel ist mit Sicherheit kein neues Phänomen. Die ersten Handschlüssel finden wir bereits zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts mit einem einfachen Zifferblatt und einem Zeiger, der durch einen Federmechanismus angetrieben wird. Dies ist ausreichend für Anwendungen mit kleinen Bolzen und Muttern, wobei 'fest-ist-fest' nicht ausreichend ist, wobei jedoch die Sicherheitsanforderungen auch nicht allzu hoch sind. Bei schweren

Verbindungen, an die hohe Anforderungen gestellt werden, und bei denen von Drehmomenten ab ca. 2000 Nm bis ca. 27.000 Nm die Sprache ist, wie z.B. bei Druckbehältern in der chemischen Industrie, Rohrleitungen im Offshore-Bereich und schweren Konstruktionen, ist die Handmethode jedoch nicht anwendbar und es müssen deshalb präzise einstellbare pneumatische oder hydraulische Drehmomentschlüssel verwendet werden.

Der Unterschied zwischen pneumatisch und hydraulisch ist rein konstruktiv gesehen ein Faktor 1 zu 100. Die pneumatische Methode



Schlüssel mit vierkantantrieb



Mit einem hydraulischen Drehmomentschlüssel kann die Bolzen-/Mutterverbindung entsprechend der Anforderungen des Herstellers mit der entsprechenden Vorspannung im Bolzen kontrolliert fixiert werden.

arbeitet mit einem Druck von 6 bar, während beim hydraulischen Drehmomentschlüssel ein Druck von 700 bis 800 bar angewendet wird. Dies wirkt sich natürlich auf die Schlüsselkonstruktion aus. Um dasselbe Drehmoment zu erreichen, kann ein hydraulischer Drehmomentschlüssel wesentlich leichter konstruiert werden. Darüber hinaus ist Luft komprimierbar, Öl dagegen kaum. Und obwohl auch beim pneumatischen Schlüssel das Drehmoment gegenwärtig elektronisch kontrolliert werden kann, ist dieser weniger präzise als der hydraulische Schlüssel. Übrigens gibt es für leichte Anwendungen auch präzise Handschlüssel mit einem Klicksystem oder einer elektronischen Kontrolle.

■ **Der hydraulische Drehmomentschlüssel**

Beim hydraulischen Drehmomentschlüssel wird die lineare Bewegung des hydraulischen Zylinders unter hohem Druck (700-800 bar) in eine rotierende Bewegung (jeweils 25 - 30 Grad) eines verzahnten Sperrstifts (Ratchet)

umgesetzt, um die Mutter festzuziehen. Das komplette System besteht aus drei Komponenten: die elektrisch angetriebene hydraulische Pumpe, der Drehmomentschlüssel mit Antriebsquadrat und Reaktionsarm, eine oder mehrere Aufsätze (Sockets) bzw. Einsatzkassetten. Früher wurden die hydraulischen Drehmomentschlüssel vollständig aus Stahl gefertigt. Das Verhältnis zwischen maximalem Drehmoment und Gewicht (inkl. Stützarm) ist bei diesen Stahlschlüsseln äußerst ungünstig. Für einen Schlüssel mit einem maximalen Drehmoment von ca. 4800 Nm wären das ca. 500 Nm pro kg Gewicht. Das heißt, ein Schlüssel von maximal 4800 Nm würde ca. 9-10 kg wiegen. Größere Schlüssel sind damit noch schwerer und können nicht mehr von einer Person bewegt werden. Gegenwärtig wird für das Gehäuse eine leichte, aber besonders stabile Aluminiumlegierung mit sehr hoher Zugfestigkeit verwendet. Ausschließlich essentielle Teile, wie z.B. der Sperrstift-Antrieb, werden noch aus Stahl gefertigt. Bei derartigen Schlüsseln ist das Verhältnis zwischen maximalem

Drehmoment und Gewicht wesentlich günstiger und beträgt ca. 1200 Nm pro kg Gewicht. Das Gewicht derartiger Schlüssel, inkl. Stützarm, für maximal 4800 Nm beträgt nun nicht mehr als 4 kg. Dies ist besonders wichtig für die Arbeit auf Gerüsten, wenn über Kopf gearbeitet werden muss und beim Transport mit dem Helikopter. Die im Drehmomentschlüssel verwendeten hydraulischen doppelwirkenden Zylinder bieten höheres Arbeitstempo und ein präziseres Drehmoment. Einfachwirkende Zylinder müssen nämlich durch eine Feder in die Ausgangsposition zurückgebracht werden, was zu Abstrichen bezüglich Präzision sowie zu zusätzlichem Druck und Zeitaufwand führt. Die Rücklaufgeschwindigkeit ist abhängig von der Schlauchlänge und bei einer Länge von ca. 6 Metern beinahe nicht mehr ausreichend. Aufsätze (Sockets) sind am einfachsten und billigsten zu verwenden. Diese Aufsätze sind übrigens standardisiert. Es gibt zwei Typen: niedrig und hoch. Der Nachteil der hohen Aufsätze ist das höhere Werkzeug, wodurch nicht über die

Worauf ist bei Verwendung eines Drehmomentschlüssels zu achten?

Wie kann ich entsprechend der Herstelleranforderungen im Handbuch sicher abstützen?

Für einen modernen Schlüssel, gefertigt aus Leichtmaterial und mit beispielsweise einem maximalen Moment von 4800 Nm, beträgt die Reaktionskraft auf dem Stützarm ca. 4 bis 4,5 Tonnen. Für größere Schlüssel sind diese Reaktionskräfte noch wesentlich höher und darum müssen diese gut aufgefangen werden, um Verformung oder Beschädigung des Werkstücks und des Werkzeugs oder sogar Unfälle zu vermeiden. Ein gutes und solides Abstützen ist deshalb die erste Voraussetzung für eine sichere und korrekte Verwendung.

Die optimale Abstützung erreichen Sie mit dem Arm nach unten, parallel zum Aufsatz. Das durch die Reaktionskraft verursachte Drehmoment und das Drehmoment des Schlüssels sind dann ungefähr gleich hoch und kompensieren einander.

Den Reaktionsarm 90° horizontal zu verwenden ist absolut nicht empfehlenswert, denn dadurch entsteht eine Reaktionskraft auf den Arm und damit ein Biegemoment auf das Gehäuse. Die Gefahr ist groß, dass der Schlüssel sich verformt und der Antriebsmechanismus beschädigt wird.

Sind die Bolzen dicht nebeneinander oder an einer Wand positioniert, kann das Probleme im Bezug auf die Abstützung oder sogar das Positionieren des Schlüssels auf die Muttern verursachen. Besteht keine optimale

Abstützmöglichkeit, lässt sich das durch die Verwendung einfacher Hilfsmittel, wie z.B. dem Auffüllen des Zwischenraums zwischen Reaktionsarm und Maschine oder Flansch mit einem Block aus Hartholz oder Stahl kompensieren. Und obwohl nur wenig Platz vorhanden ist, können Sie den Reaktionsarm dennoch korrekt ausrichten, d.h. nicht unter 90° horizontal.

Abstützen auf der Beilagscheibe, einer gekrümmten Oberfläche oder oben auf der Mutter ist immer falsch, da das die Abrutschgefahr des Reaktionsarms erhöht. Mitunter empfiehlt es sich auch, die hydraulische Druck zu verringern.

Der Umgang mit 'frozen nuts'?

Die Faustregel für das Lösen von Muttern lautet: es ist minimal das 1,5fache des (Fest-)Drehmoments erforderlich. Sie sollten deshalb in einen Schlüssel investieren, der 50% mehr Kapazität

bietet als erforderlich. Das kostet zwar mehr Geld, aber Sie haben dafür auch die Garantie für eine erfolgreiche Anwendung. Das Lösen von aufgrund von Rost und Farbe feststehenden Muttern ('frozen nuts') erfordert mitunter mehr Kraft. In diesem Fall sollten Sie idealerweise einen Schlüssel verwenden, der mindestens das doppelte Drehmoment bietet. Besser ist jedoch die Verwendung eines qualitativ hochwertigen, rostlösenden Öls, das in maximal 15 Minuten den Rost entfernt. Das Lösemoment ist in diesem Fall wesentlich niedriger, der schädliche Knarreneffekt im Schlüssel nimmt ab, was einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Lebensdauer des Werkzeugs haben kann.

Inwieweit wirken sich Schlauchlänge und Durchflusskapazität aus?

Die Länge des Zu- und Abführungsschlauches ist im Prinzip unbegrenzt, aber ein kurzer Schlauch ermöglicht eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit. Für die Durchflusskapazität der hydraulischen Komponenten sollte die Arbeitsgeschwindigkeit des Schlüssels bei hoher Kapazität auch höher sein.

Wie viel Vorspannung ist erforderlich?

Im Prinzip müssen Sie für die maximale (vorgeschriebene) Vorspannung sorgen. Es ist jedoch wichtig, hier auf die Stärke des Bolzens und der zu verbindenden Teile, die Momentpräzision des hydraulischen Werkzeugs, den Sicherheitsfaktor der gesamten Verbindung, die Umgebungsvariablen (Temperatur, korrosive Flüssigkeiten) und die äußeren Kräfte, die auf die Verbindung wirken, zu achten. Bei einer genauen Vorspannung sind darüber hinaus kleinere oder weniger Bolzen, kleinere Flansche (Rohrleitungen) erforderlich, was zu einer weniger stabilen und billigeren Konstruktion führt.

Welche Probleme können bei falscher Vorspannung entstehen?

Bei zu hoher Vorspannung kann der Bolzen brechen, kann das Schraubengewinde abrutschen oder können Maschinenteile oder Flansche brechen. Eine zu niedrige Vorspannung führt zum Lösen durch Vibrationen, Bruch aufgrund von Materialermüdung im Bolzen, ein allmähliches Verformen der Verbindung oder (im Falle von Rohrleitungen) Auslaufen der Flüssigkeit.

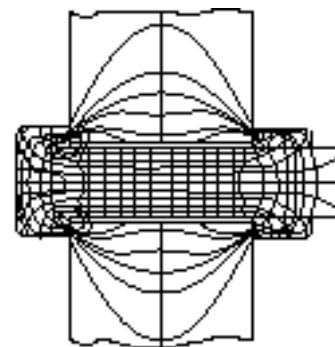
gesamte Höhe der Mutter abgestützt wird. Die Ausführungen mit auswechselbarem Einsatz sind flacher und für schwer zugängliche Stellen verwendbar.

Der Reaktionsarm dient dazu, dass das Reaktionsmoment des Schlüssels auf eine danebenliegende Mutter bzw. eine Maschinen- oder Flanschseite übertragen wird.

■ Vorspannung und Reibung

Eine der wichtigsten Ursachen für das Brechen von Bolzenverbindungen im Schraubengewinde ist die falsche Vorspannung.

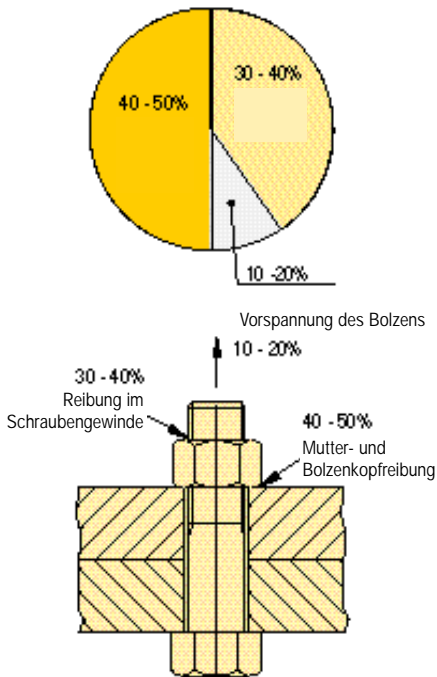
Obwohl beim Festdrehen der Mutter auf das Anzugsdrehmoment geachtet wird, steht die Vorspannung im Mittelpunkt. Trotz der verschiedenen bekannten Messmethoden ist es nach wie vor schwierig, die Vorspannung zu kontrollieren. Zwar ist dem Konstrukteur bekannt, wie viel Kraft auf die Maschinenteile oder einen Flansch wirken werden sowie die Verluste durch Reibung und das



Grafische Darstellung von Vorspannung und Reibung, die in Bolzen und Mutter auftreten.

Setzen des Materials, und auf dieser Grundlage wird auch die Anzahl der erforderlichen Bolzen, der Bolzenklasse und die erforderliche Vorspannung (kN) in den Bolzen berechnet, aber wenn diese Maschinenteile später repariert werden, besteht die Möglichkeit, dass Reibungsverluste auftreten und das Setzen des Materials beim Wiederausbau außer Acht gelassen werden.

Das Anzugsmoment bzw. die Kraft, die erforderlich ist, um eine



Friktion

Bolzenverbindung festzuziehen, hängt von einer Reihe von Variablen ab:

- Reibungsverlust zwischen Mutter und Bolzen
- Reibung zwischen Mutteroberfläche und Maschinen- oder Flanschteil
- Geometrie (Qualität) des Schraubengewindes
- Methode beim Festziehen und Werkzeug (Drehmomentschlüssel).

Die größte Reibung entsteht zwischen dem Schraubengewinde in der Mutter und auf dem Bolzen sowie zwischen der Mutter und dem zu befestigenden Bauteil. Die Reibungsverluste können beträchtlich sein und hängen vom Reibungskoeffizienten zwischen den beweglichen Teilen ab. So kann bei nahezu trockener Reibung, einer rauen Oberfläche und dem Setzen des Materials der Verlust so hoch sein, dass kaum Vorspannung im Bolzen entsteht. Letztendlich bleibt dann häufig nicht mehr als ca. 10% des Drehmoments für eine präzise Vorspannung übrig. Der Rest geht an Reibung und Setzen des Materials verloren. Dahinter versteckt sich das Risiko, dass die Verbindung zwar stabil zu sein scheint, was aber eigentlich nicht stimmt.

Das folgende Beispiel soll dies

anschaulich machen. Bei der Montage in der Fabrik sind alle Maschinenteile noch neu und sauber. Nach ein paar Nutzungsjahren dürften diese jedoch verschmutzt, verrostet usw. sein. Werden die Teile nun demontiert und anschließend wieder zusammengebaut, tritt starke Reibung auf. Der Schlüssel zeigt dann durchaus ein gutes Drehmoment an, aber die erforderliche Vorspannung wird nicht erreicht. Sobald die Bauteile bei Inbetriebnahme wieder Druck ausgesetzt sind, wird die Verbindung loser sein als erforderlich, was die Gefahr von Unfällen erhöht. Die Verwendung einer Unterlegscheibe ist übrigens immer anzuraten, da dadurch die Wirkung der Kraft besser verteilt wird. Der Reibungskoeffizient kann übrigens durch die Verwendung von Schmiermitteln verringert werden. Auch hier ist eine Warnung angebracht, da die Reibung dadurch möglicherweise zu niedrig wird. Die Folge davon ist, dass die Vorspannung zu hoch ist und sogar nahe der Dehnungsgrenze liegen kann. Wird die Verbindung anschließend Druck ausgesetzt (Druckbehälter), unterliegt sie Temperaturschwankungen (Kondensator) oder Vibrationen (Brücken), ist das Risiko, dass die Bolzen brechen, nicht auszuschließen. Andererseits kann die Spannung im Bolzen auch die Elastizitätsgrenze überschreiten, so dass sich die Verbindung nach dem Festziehen wieder löst.

■ Vorspannung messen

Aus den bisherigen Ausführungen wird deutlich, dass eine Verbindung, in Abhängigkeit von der Vorspannung und der Reibung, auch zu lose oder zu fest sein kann. Deshalb ist besondere Fachkenntnis erforderlich, um zu wissen, welche Vorspannung erforderlich ist und wann diese Vorspannung erreicht ist. Messen ist hierfür die einzige Methode.

Die 'einfachste' Art ist, die Längenveränderung des Bolzens mit einem Mikrometer zu messen. Bei einer bestimmten berechneten Vorspannung zeigt der Bolzen, je nach Qualität, eine bestimmte Dehnung.

Eine andere Methode ist das Messen des Verdrehungswinkels der Mutter. Bei der Arbeit mit einem Drehmomentschlüssel lässt sich für jeden Bolzendurchmesser bei einer bestimmten mittleren Reibung aus Erfahrungswerten darauf schließen, welches Drehmoment (Nm) erforderlich ist, um eine bestimmte Längenveränderung zu erhalten. An Hand der Gewindesteigung des Schraubengewindes und des Drehwinkels der Mutter lässt sich nämlich die Längenzunahme des Bolzens berechnen. Dazu wird die Mutter erst mit einer Vorspannung von ca. 200 Nm festgezogen; das reicht aus, um die Maschinen- oder Flanschteile ohne Verformung des Bolzens aneinander zu drücken. Wir bezeichnen das als die Nullbasis.



Sechskantdrehmomentschlüssel. Der geringe Kopfradius und die Schwenkkupplungen erlauben einen problemlosen Zugang in allen Positionen.

Anschließend wird die Mutter in den erforderlichen Winkel gedreht. Auf dem Bolzen und der Mutter sind mit Kreide (möglicherweise mit dem Computer) berechnete Markierungen angebracht. Wenn diese Markierungen einander gegenüber stehen, ist der richtige Wert erreicht. Auf diese Weise ist die Reibung irrelevant.

Eine sehr präzise Methode ist das Messen der Vorspannkraft mittels einer Kombination aus Ultraschall und Mikroprozessor. Durch das Festdrehen der Mutter entsteht im Bolzen eine Zugspannung und damit Dehnung. Die Durchlaufgeschwindigkeit der Ultraschallwelle (Waves) in einem Bolzen nimmt mit zunehmender Zugspannung ab und kann dadurch zum Messen der Vorspannkraft im Bolzen verwendet werden. Mit dieser Methode können sehr präzise Messungen erzielt werden, sie ist jedoch ziemlich kostspielig und muss durch Spezialisten ausgeführt werden. Eine häufiger angewendete und auch ziemlich präzise Methode ist, den Bolzen mit Hilfe eines hydraulischen Zylinders zu dehnen (Zugspannung), bis die erforderliche Vorspannung erreicht ist. Auf einem Manometer kann abgelesen werden, wie hoch der auftretende hydraulische Druck ist. Anhand dessen kann berechnet werden, welche Kraft auf den Bolzen wirkt. Dadurch löst sich die Mutter etwas und kann problemlos festgedreht werden. Beim Verringern des hydraulischen Drucks entsteht anschließend die präzise Vorspannung. Diese Methode ist präziser als ein Drehmomentschlüssel. Der Nachteil dabei besteht jedoch darin, dass Spannungsverluste durch das spätere Setzen des Bolzenmaterials auftreten. Bei Verwendung eines Drehmomentschlüssels ist diese Gefahr geringer, da während des Festziehens mehr Zeit für das Setzen zur Verfügung steht. Die Mutter dreht sich nämlich um ca. 25 Grad und wird jedes Mal kurz losgelassen, so dass der Bolzen ein paar Sekunden Zeit zum 'Atmen' hat und die Moleküle

sich setzen können. Das hydraulische Festziehen der Bolzen ist jedoch eine umständliche und zeitraubende Methode, die spezielles Know-how voraussetzt. Deshalb verwendet man diese Methode ausschließlich bei Anwendungen, an die sehr hohe Sicherheitsanforderungen gestellt werden, wie z.B. Atomreaktoren, Druckbehälter, Schraubenkompressoren, Schiffsdieselmotoren und Turbinen.

■ Messen beim Lösen

Meistens gibt der Konstrukteur das Drehmoment für einen bestimmten Reibungskoeffizienten an. In Fällen, bei denen jedoch über die erforderliche Vorspannung und das dazugehörige Drehmoment keine Daten (mehr) bekannt sind, wird dennoch gemessen, welches Drehmoment erforderlich ist, um die Verbindung zu lösen. Dies stellt übrigens eine Notlösung dar, da die Gefahr besteht, dass die Mutter so fest sitzt, dass möglicherweise gut 2,5 Mal so viel Drehmoment erforderlich ist. Dies lässt sich nur vermeiden, indem die Mutter beispielsweise zuerst etwas vom Rost befreit und anschließend beim langsamen weiteren Losdrehen das Drehmoment von da an hydraulisch gemessen wird. Dadurch erhalten Sie in jedem Fall Aufschluss über die Vorspannung und das Drehmoment, die erforderlich sind, um die Mutter anschließend



Die frühere Methode.



Die Enerpac Methode von heute.

wieder zu befestigen. Dennoch bleibt die beste Methode, mit dem Hersteller Kontakt aufzunehmen.

Enerpac bietet ein optimales 'Leistungs-/Gewichts-'Verhältnis

Durch Verwendung leichter Hightech-Materialien und einem Schlüsselgehäuse aus einem Stück sind die hydraulischen Drehmomentschlüssel von Enerpac äußerst kompakt. Das Ratschensystem verfügt über eine feine Verzahnung, wodurch eine höhere Präzision erreicht und ein Festfressen des Antriebs verhindert werden kann. Die doppelwirkenden Zylinder bieten ein präzises Drehmoment bei hoher Arbeitsgeschwindigkeit. Der Arbeitsdruck von 800 bar sorgt für ein hohes Drehmoment-/Gewichts-Verhältnis und bietet mehr Kraftreserven beim Einsatz. Die Drehkupplung ist bei hohem Druck um 360 Grad drehbar, so dass die Schläuche in jede Position gebracht werden können. Das ist bei Arbeiten in räumlich begrenzten Umgebungen sehr wichtig.

Durch die leichte, kompakte Ausführung sind die Enerpac-Schlüssel gut zu handhaben und praktisch überall einsetzbar. Der Große Vorteil der Sechskantkassetten und -Adapter besteht darüber hinaus darin, dass diese schnell ausgewechselt werden können und dass dafür keine zusätzlichen Geräte erforderlich sind.

■ Welche Art von Drehmomentschlüssel?

Die Wahl des Drehmoment-schlüsseltyps hängt von der Anwendung ab. Neben den Kapazitätsdaten werden hierbei unter anderem folgende Fragen beantwortet: 'reicht die verfügbare Höhe aus, um den Schlüssel verwenden zu können?' und 'steht um die Mutter herum ausreichend Platz zur Verfügung?'. Im allgemeinen gilt als Faustregel, dass der Drehmomentschlüssel die geforderte Kapazität um mindestens 30% überschreiten muss. Das bietet eine Kapazitätsreserve, die beim Lösen von Bolzenverbindungen erforderlich sein kann. Bei schweren Anwendungen wird häufig mit Schlüsseln gearbeitet, welche doppelte Kapazität bieten. Übrigens kann man für bestimmte Fälle stets bei Spezial-Lieferanten einen schwereren Schlüssel ausleihen. Was den verfügbaren Aktionsraum betrifft, gilt folgendes: bei ausreichender Höhe dürfte ein rechtwinkliger Antrieb ausreichend sein. Ist die Höhe jedoch beschränkt, sollte man besser eine niedrigere Ausführung mit Einsatzkassetten wählen.

Enerpac B.V.

Postfach 8097

6710 AB Ede

Niederlande

tel. +31 318 535 911

fax +31 318 525 613

internet: www.enerpac.com

e-mail: info@enerpac.com