

SMA-Drehmomentschlüssel

Helmut Stadelmeyer

Wir alle wissen, daß SMA-Verschraubungen nur dann ihre spezifizierten Werte dauerhaft einhalten, wenn sie mit dem richtigen Drehmoment festgezogen sind. Dafür gibt es im Handel spezielle Schlüssel, die leider einen Nachteil haben: Sie sind richtig teuer, sodaß man den Kauf lange vor sich herschiebt. In der Zwischenzeit verläßt man sich auf Gefühl und Glück.

Eine Suche im Internet hat endlich den Weg zum eigenen SMA-Schlüssel geebnet: Im fernen China werden um wirklich kleines Geld so bezeichnete Schlüssel angeboten [1], wobei die zugehörige Beschreibung mehr als dürftig ist. Wir haben versuchsweise zu viert eine Sammelbestellung gemacht, wohl wissend, daß wir uns auf ein Lotteriespiel einlassen. Nach den üblichen vier Wochen kam das Päckchen und die Neugier war übermächtig. Abb. 1 zeigt den Inhalt des goldfarbenen Aluminiumrohres.



Abb. 1: Einzelteile des Schlüssels von links nach rechts

- Griffstück aus eloxiertem Alurohr, 125 mm lang, 15 mm Durchmesser, ca. 30 mm langes M10-Innengewinde.
- Gabelschlüssel mit 7,9-mm Maul, gehärtet und schwarz brüniert.
- Haltestift, 3 mm Durchmesser, gehärtet und blank.
- Kugel, 9,5 mm Durchmesser, blank.
- Zwischenstück, 8 mm Durchmesser, 30 mm lang, blank. Der polierten Oberfläche nach könnte es sich bei dem Teil um ein Referenzmaß zur Kontrolle einer Bügelmeßschraube handeln.
- Druckfeder, 8 mm Durchmesser, 61 mm lang, blank.
- Madenschraube M10 mit 5-mm-Innensechskant, schwarz brüniert.

Vergleich mit einem Markenprodukt

- Dieser China-Schlüssel ist deutlich größer, was bei beengten Platzverhältnissen in manchen Geräten zum Problem werden kann. Sein Gewicht beträgt 88 g.
- Mit der frei zugänglichen und ungesicherten Madenschraube ist das Drehmoment [2] einstellbar, was mitunter ein Vorteil ist, vorausgesetzt, man kann das eingestellte Moment überprüfen.
- Alle Teile sind sauber ausgeführt
- Der große Nachteil dieser Konstruktion ist der Umstand, daß beim Erreichen der eingestellten Drehmomentgrenze der Schlüssel nicht schlagartig, sondern bei weiterer Zunahme des Drehmoments immer weiter bis zu annähernd 90 Grad knickt. Ordnungsgemäßes Verschrauben einer SMA-Verbindung ist im Originalzustand dieses Werkzeugs deshalb nicht möglich. Die automatische Rückstellung des Schlüssels in die Ausgangsposition funktioniert.

Ein Fehlkauf?

Natürlich gab es nach dieser Erkenntnis lange Gesichter. Eine Fehleranalyse zeigt, daß das Problem durch die große Kugel verursacht wird, der ein eindeutiger Rastpunkt fehlt. Warum also nicht diese Kugel durch ein anderes Bauteil ersetzen und, falls notwendig, das kugelseitige Ende des Gabelschlüssels ein wenig nacharbeiten?

Die Überlegung ist wie folgt: Anstatt der großen Kugel eine kleine mit 4 mm Durchmesser in einem Halter, der möglichst genau in das Griffstück paßt, damit der Gabelschlüssel kein unnötiges Spiel bekommt. Die kleine Kugel rastet in einem 3-mm-Loch ein, das 2 mm tief ist und sich mittig im kugelseitigen Ende

des Gabelschlüssels befindet. So steht der unbelastete Schlüssel in seiner Ausgangsposition. Bei Erreichen des eingestellten Drehmoments gibt die Feder nach und die Kugel schnappt aus dem 3-mm-Loch.

Beim Zerlegen des Schlüssels beginnt man mit der Madenschraube, zum Austreiben des Stiftes dient ein Holzbrettchen als Unterlage und eine längere M3-Schraube als Durchschlag. Beim Musterexemplar hat das Griffstück im Bereich der Kugel einen Innendurchmesser von 10,2 bis 10,25 mm, ist also doch nicht ganz sauber. Der aus Stahl neu angefertigte Kugelhalter bekam 10,15 mm Durchmesser, die Anschrägung hat 45 Grad (Abb.2).

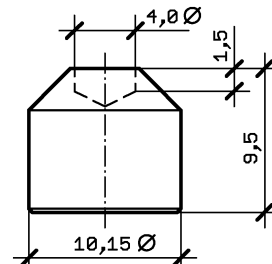


Abb. 2: Kugelhalter

Zur Bearbeitung des Gabelschlüssels ist eine Fräsmaschine notwendig und man braucht Fräser und Bohrer aus Hartmetall. Die beiden Höcker auf seinem kugelseitigen Ende sind eben abzutragen, die Fläche muß glatt werden, weil auf ihr die Kugel rutschen soll (Abb. 3). Vor dem Bohren des 3-mm-Lochs ist mit dem Kantentaster die Mitte auszumessen. So ist sichergestellt, daß der Gabelschlüssel bestmöglich in beiden Richtungen beim gleichen Drehmoment knickt.

Bearbeitungstipps

Beim Umbau des zweiten Exemplars hat sich gezeigt, daß das Griffstück auf herkömmlichen Werkzeugmaschinen angefertigt worden ist: Die 10 mm breite Nut zur Aufnahme des Gabelschlüssels war ein klein wenig aus der Mitte und das Loch für den Kugelhalter am äußeren Ende der Wangen zu klein, sodaß er sich nicht hat einführen lassen. Vom Auseinanderbiegen der Wangen wurde Abstand genommen, weil die Eigenschaften des Materials unbekannt sind; deshalb blieb für die Erweiterung der Bohrung um etwa 0,1 mm nur spanabhebende Bearbeitung übrig.

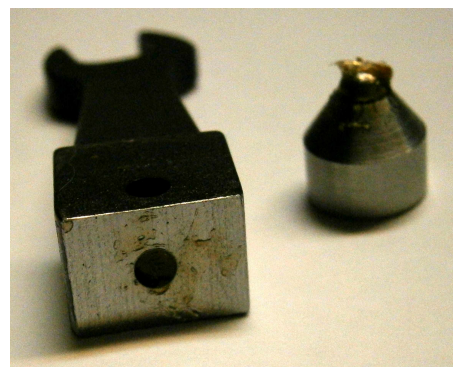


Abb. 3: Rastloch im Gabelschlüssel

Ausgeführt wurde sie auf der Drehmaschine folgendermaßen: Das Griffstück war im Dreibackenfutter eingespannt, das Werkzeug (ein Schaftfräser mit 10 mm Durchmesser) in einem Bohrkopf auf dem Reitstock. Der Fräser war durch Beilage eines schmalen Streifens Durchschlagpapier mit 0,04 mm Dicke leicht exzentrisch gespannt. Das Papier ist dazu beim Spannen unter eine Backe des Bohrkopfes zu schieben. Diese Art der Bearbeitung funktioniert nur bei vergleichsweise weichem Material und ganz kleinen Spänen. Möchte man hingegen ein Werkstück exzentrisch bearbeiten, dann kommt die Zwischenlage unter eine Backe des Dreibackenfutters und das Werkzeug wird im Reitstock zentrisch gespannt.

Vor dem Zusammenbau sind beide Löcher mit Schmierfett zu füllen, die Kugel wird in den Halter gedrückt und läuft nun nicht mehr davon. Der Halter ist auch außen einzufetten, damit er im Griffstück nicht reibt. Ebenso ist die plan gemachte Fläche des Gabelschlüssels leicht einzufetten. Anschließend sind Kugelhalter, Gabelschlüssel und Stift einzusetzen, dann die Feder, das Zwischenstück und zuletzt die Madenschraube.

Nach dem Zusammenbau ist bei mäßig angezogener Madenschraube der Gabelschlüssel an die dreißigmal zwischen seinen Endanschlüssen hin und her zu bewegen. Dabei wird der Rand des 3-mm-Loches durch die Kugel soweit abgerundet, daß das Knicken leichtgängiger vonstatten geht und weiteres Knicken keine merkliche Änderung mehr zur Folge hat.

Kalibrieren

Für diese etwas umständliche, aber notwendige Prozedur braucht man eine Waage mit Digitalanzeige und einem Ziffernschritt von nicht mehr als 10 Gramm (Abb. 4). Um Unsicherheit auszuschließen, vergleicht man die Anzeige einer Masse von ungefähr einem Kilogramm mit der auf Frau Mutters digitaler Küchenwaage.

Hat man nur einen Schlüssel, dann stellt sich jetzt die Frage, auf welchen Wert der justiert werden soll, weil im Internet unterschiedliche Angaben zu den beiden Arten von SMA-Verbindungen kursieren [3] und [4]. Kein guter Kompromiß wäre 0,8 Nm, weil die Edelstahl-Ausführung 0,8 bis 1,1 Nm für die rüttelfeste Endmontage braucht, was eine Messing-Ausführung unter Umständen schon unumkehrbar beschädigt, denn deren Grenzen werden mit 0,34 bis 0,57 Nm angegeben. Ihre spezifizierten Werte erreicht eine

SMA-Drehmomentschlüssel

SMA-Verbindung bereits bei deutlich geringerem Drehmoment, wie bei [4] nachzulesen ist. Es wird deshalb in der Testphase reichen, eine Edelstahlverschraubung mit einem Schlüssel für die Messing-Ausführung festzuziehen.

Dazu gleich die nächste Frage: Sind vergoldete Verschraubungen aus Messing oder aus Stahl? Ein Magnet ist zum Prüfen keine Hilfe, weil Edelstahl unmagnetisch ist, der Innenleiter von Festmantelkabeln jedoch aus magnetisierbarem Stahl besteht, der versilbert ist. Um Gewißheit zu erlangen, müßte man mit der Feile die schöne Oberflächenbeschichtung abkratzen - wer will das schon? Vermutlich sind diese Verschraubungen zum Gutteil aus Messing, weshalb ein zweiter Schlüssel für die „Vergoldeten“ mit 0,45 Nm für eine gut eingerichtete Werkstatt die richtige Lösung ist. Nachstehende, beispielhafte Rechnung gilt für 0,8 Nm:

Das Drehmoment M [Nm] ist das Produkt aus dem Hebelarm a [m] und dem Betrag der Kraft F [N] [5]. Der Abstand a vom Drehpunkt in der Mitte des Schlüsselmauls bis zum Angriffspunkt der Kraft F betrug 145 mm (an dieser Stelle ändert sich der Durchmesser des Griffstücks von 14,9 auf 15,4 mm): $M = a * F$. Die Werte von M und a sind bekannt, F erhält man durch Umstellen der Formel: $F = M / a = 0,8 / 0,145 = 5,52$ N

Diese Kraft erzeugen wir durch ein Gewicht, das auf der Waage aus Metallstücken zusammenzustellen ist und an einem Bindfaden aufgehängt wird. Für die Umrechnung gilt, daß eine Masse von 1 kg eine Kraft von 9,81 N bewirkt. Also: $1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} / 9,81 = 0,102 \text{ kg}$. Für 5,52 N sind das $0,102 * 5,52 = 0,563 \text{ kg}$. Die durch einen Ziffernschritt von 10 g entstehende Unsicherheit liegt bei 5 Promille und ist deshalb vernachlässigbar.

Um einen möglichen Meßfehler zu vermeiden, der durch das Eigengewicht des Hebelarms entstehen kann, ist der Aufbau zum Justieren des Schlüssels auf der Schreibtischplatte angeordnet worden, er ist denkbar einfach: Eine 8-mm-Mutter ist auf einen Holzstück montiert, das als Festpunkt von einer Schraubzwinge gehalten wird. Die gewünschte Kraft liefert das Gewicht über den Bindfaden und eine leichtgängige Umlenkrolle an die markierte Stelle des Griffstücks. In dessen Ruhestellung muß der Bindfaden von dort im rechten Winkel weggehen (Abb. 5).



Abb. 5: Anordnung zum Einstellen des Drehmomentes



Abb. 4: Verwendete Waage



Abb. 6: Fertige Schlüssel

Diese Anordnung hat den Vorteil, daß der Moment des Knickens gut erkennbar ist. Durch Verdrehen der Madenschraube sucht man jene Einstellung, bei der der Gabelschlüssel zu knicken beginnt und anschließend ist zu prüfen, ob sie auch beim Knick zur anderen Seite hin einigermaßen stimmt. Eine weitere „Knick-Kur“ bei mäßig erhöhtem Drehmoment verringert solchen Unterschied zumeist, auch das Umsetzen des Gabelschlüssels kann da hilfreich sein.

SMA-Drehmomentschlüssel

Die Position der Schraube wird abschließend mit einem Tropfen Nagellack gesichert, der Bereich um die Kugel ist gelegentlich nachzuschmieren.

Hat man sich entschlossen, für beide Arten von SMA-Verschraubung Schlüssel anzuschaffen, wird man für Edelstahl 0,95 Nm wählen und für Messing 0,45 Nm. Die dazu erforderlichen Gewichte sind dann 0,669 und 0,317 kg. Will man hingegen den eingestellten Wert eines vorhandenen Schlüssels ermitteln, ist das Gewicht durch eine Kofferwaage zu ersetzen, an der man so fest zieht, daß er knickt.

Unter den in Abb. 6 gezeigten Schlüsseln ist auch einer, bei dem das Loch für den Haltestift etwas außerhalb der Mitte des Gabelschlüssels ist (der dritte von oben) – ein weiterer Hinweis, daß hier Handarbeit der Geburtshelfer dieser Werkzeuge ist. Dieser Umstand hat zur Folge, daß der Gabelschlüssel in seiner unbelasteten Stellung bereits schräg steht und sich nur auf eine Seite knicken läßt. Das schränkt seine Funktion nur wenig ein, ermöglicht zum Ausgleich aber das Lösen einer verschraubten Verbindung ohne Werkzeugwechsel.

Zusammenfassung

Beschrieben werden mechanische Änderungen an einem als SMA-Schlüssel bezeichneten Werkzeug, die zum Erreichen der bestimmungsgemäßen Funktion notwendig sind. Weil der Aufwand gering und der Umbau erfolgreich verlaufen ist, sind auch die restlichen drei Exemplare in dieser Weise geändert worden. Passende Kugeln sind unter anderem bei [6] erhältlich. Wegen der geringen Kosten für solche Schlüssel ist zu überlegen, einen für Stahl- und einen für Messingverschraubungen anzuschaffen. Damit hergestellte Verbindungen sind nicht viel schlechter als jene, die mittels Markenwerkzeug verschraubt werden. Für eine Hobbywerkstatt ist deshalb solches Billigwerkzeug allemal ausreichend.

Helmut, OE5GPL

Verweise und Quellen:

- [1] AliExpress, SMA Connector Torque Wrench: https://de.aliexpress.com/sma-connector-torque-wrench_reviews.html
- [2] WIKIPEDIA, Drehmoment: <https://de.wikipedia.org/wiki/Drehmoment>
- [3] MICROWAVES101, Connector Torque : <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/connector-torque>
- [4] CentricRF, Torque Specifications: <http://centricrf.com/torque-specifications/>
- [5] WIKIPEDIA, Newton (Einheit): [https://de.wikipedia.org/wiki/Newton_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Newton_(Einheit))
- [6] eBay, Replacement Parts 4mm 5mm 6mm 8mm 9mm 10mm Steel Ball: <http://www.ebay.at/itm/Replacement-Parts-4mm-5mm-6mm-8mm-9mm-10mm-Bike-Bicycle-Steel-Ball-Bearing-SE-/222322881260?hash=item33c379f2ec:g:6JcAAOSwlmRYNEA5#shpCntId>

1. Nachtrag, Dezember 2017

Konsequenterweise werden mittlerweile auch für SMC- und N-Verschraubungen Schlüssel angeboten, deren Maulweite aber leider derzeit nicht brauchbar ist: In meiner umfangreichen Sammlung von Adaptern war keiner zu finden, bei dem ein 20-mm- oder auch ein 6,5-mm-Schlüssel richtig gepaßt hätte. Alle SMC-Verschraubungen brauchen 6 mm und bei der N-Norm reicht die Skala von 12 bis zu 19 mm. APC7 hat ebenfalls 19 mm Maulweite. N-Verschraubungen sind so wie SMA auch in Edelstahl- und Messingausführung erhältlich, was ebenfalls unterschiedliche Anzugsmomente verlangt. [4]