



Dipl.-Ing. (FH) Christian Niklis

Kontaktschrauben



ARCUS ELEKTROTECHNIK
ALOIS SCHIFFMANN GMBH

Vorwort

Neben der Presstechnik hat die Schraubtechnik einen hohen Stellenwert beim Herstellen von Kabelverbindungen jeglicher Art. Für die Schraubtechnik sprechen zum einen die großen Querschnittsbereiche, die mit einem Verbindungselement abgedeckt werden können. Ein anderes Argument ist die einfache und schnelle Montage, die mit kleinen und leichten Werkzeugen durchführbar ist. Das Kernelement der Schraubtechnik ist die Kontaktschraube, wobei eine Vielzahl von Anforderungen verschiedene Schraubentypen hervorgerufen hat.

Mit diesem Beitrag sollen die wesentlichen Merkmale von Kontaktschrauben sowie deren Auswahlkriterien erläutert werden.

Aufgaben einer Kontaktschraube

Die primäre Aufgabe einer Kontaktschraube ist die Erzeugung einer Kontaktkraft, um möglichst viele tatsächliche Kontaktflächen zwischen zwei elektrisch leitenden Körpern zu schaffen. Durch Verformung eines oder beider Körper werden gleichzeitig vorhandene Fremdschichten wie zum Beispiel eine Oxidhaut zerstört. Je mehr tatsächliche Kontaktflächen geschaffen werden, umso geringer ist der Kontaktwiderstand.

Eine weitere Aufgabe besteht darin, die beiden Körper gegen auftretende mechanische Kräfte zusammenzuhalten, damit die Kontaktflächen lange erhalten bleiben. Das bedeutet für Kabelverbindungen, dass die Kontaktierung 50 Jahre oder länger sämtlichen Belastungen standhalten muss.

Da die Kontaktschraube mindestens einen der stromführenden Körper direkt berührt, kommt es zwischen der Schraube und diesem Körper zu Wechselwirkungen, welche zur chemischen oder mechanischen Schädigung der tatsächlichen Kontaktflächen führen können. Deswegen ist die richtige Schraubenauswahl Voraussetzung für einen dauerhaft guten Kontakt.



Welche Kontaktschraube ist die Richtige?

Um die richtige Schraube zum Kontaktieren von Kabelleitern bestimmen zu können, sind verschiedenste Kriterien zu betrachten.

Zuerst einmal muss zwischen blanken und isolierten Leitern unterschieden werden.

Für blanke Leiter genügt eine einfache Druckschraube, während für isolierte Leiter eine Schraube (1) erforderlich ist, welche die Isolation des Leiters erst durchdringt und anschließend die Kontaktkraft aufbaut.

Weiter ist zu klären, ob die Schraube als einfacher Gewindestift (2) oder mit einem Abscherkopf (3) ausgeführt sein soll.

Die Entscheidung für einen Gewindestift wäre richtig, wenn der Schraubenüberstand nach der Montage keine Rolle spielt oder wenn der Monteur das richtige Anzugsmoment zum Beispiel mit einem Drehmomentschlüssel oder aufgrund seiner Erfahrung sicherstellen kann.

Die Entscheidung für eine Kontaktschraube mit Abscherkopf wäre richtig, wenn die Schraube nach der Montage nur um ein bestimmtes Maß über den Klemmkörper hinausragen darf oder wenn das Anzugsmoment weder vom Monteur noch vom Werkzeug abhängen soll.

Bei Kontaktschrauben mit Abscherkopf ist noch die Anzahl der Sollbruchstellen festzulegen, welche aber hauptsächlich vom Querschnittsbereich der verklemmbaren Kabelleiter sowie vom zulässigen Schraubenüberstand nach der Montage bestimmt wird.

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit für Kontaktschrauben mit Abscherkopf besteht zwischen lösbaren und unlösbaren Schrauben.

Lösbare Schrauben haben einerseits den Vorteil, dass sie sich bei fehlerhafter Montage wieder öffnen lassen. Sie haben andererseits den Nachteil, dass sie nach dem Öffnen wieder auf die gleiche, bereits deformierte Stelle am Kabelleiter gesetzt werden können. Diese Kontaktierung wäre sicherlich schlechter als eine Kontaktierung an einer unverformten Stelle, da sich durch die bereits erfolgte Verfestigung des Leiters weniger tatsächliche Kontaktflächen bilden würden.

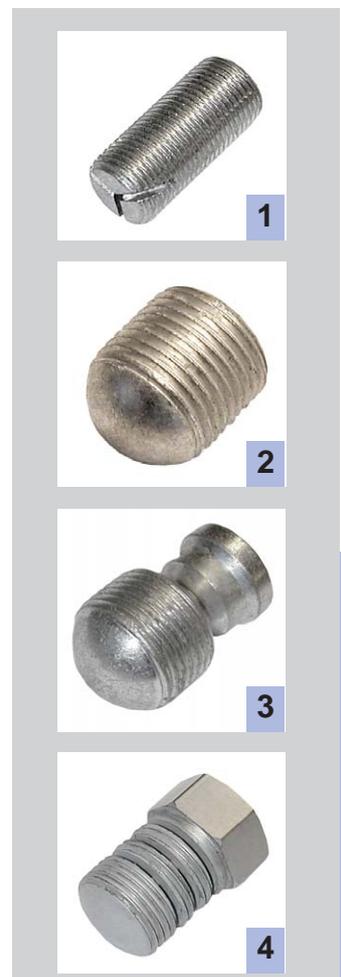
Außerdem verleiten lösbare Schrauben einen Monteur eventuell zum Nachziehen, was zum Beispiel bei mehrdräftigen Aluminiumleitern zur Durchtrennung einzelner Drähte führen könnte.

Bei Kontaktschrauben mit mehr als einer Sollbruchstelle (4) ist noch zu unterscheiden, ob das Auslösen einer bestimmten Bruchstelle vom Montagewerkzeug oder von der Geometrie der Schraube bestimmt wird.

Bestimmt die Auswahl des Werkzeugs die Sollbruchstelle, muss der Monteur für diese Kontaktschraube verschiedene Montagewerkzeuge bereithalten. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass in der Bruchfläche nach dem Abscheren des Schraubenkopfes ein Loch zurückbleiben kann, welches in der Mittelspannung zu einer unerwünschten Erhöhung der elektrischen Feldstärke und damit auch zu Teilentladungen führen kann. Der Vorteil dieser Schraube besteht darin, dass das größere Anzugsmoment auch dem größeren Leiterquerschnitt zugeordnet ist, während bei der Festlegung der auslösenden Sollbruchstelle über die Geometrie der Kontaktschraube das größere Anzugsmoment dem kleineren Leiterquerschnitt zugeordnet ist.

Abgesehen von den geometrischen Merkmalen für Kontaktschrauben sind die verwendeten Werkstoffe sowie die Eigenschaften der Oberfläche entscheidend.

In den folgenden Abschnitten soll näher auf die verschiedenen Ausführungsformen eingegangen werden.



AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE

Schraubenkopf



1



2



3

Der Kopf einer Schraube ist so ausgeführt, dass sich mit handelsüblichen Werkzeugen das Anzugsmoment in die Schraube einleiten lässt. Gewöhnlich werden dafür der Innensechskant sowie der Außensechskant verwendet.

Durch Kombination von verschiedenen Sechskanten an einer Kontaktschraube können dieser Schraube bestimmte Eigenschaften gegeben werden.

So lassen sich einzelne Sollbruchstellen über die Zuordnung verschiedener Sechskante gezielt auslösen (1).

Es ist auch denkbar, einen Sechskant zum Festziehen und einen anderen zum Öffnen der Schraube vorzusehen.

Man kann aber auch verschiedene Sechskante zur Montageerleichterung durch freie Werkzeugwahl anbieten (2).

Es ist möglich, den Innen- sowie den Außensechskant mit einer Sperre für das Montagewerkzeug in Form eines Körnerschlags (3), eines Kunststoffstoppers oder eines Bundes zu versehen, welche bei Kontaktschrauben mit Abscherkopf dafür sorgt, dass nach dem Abscheren noch die untere Hälfte der Schlüsselfläche vorhanden und somit die Schraube wieder lösbar ist.

Schon die Wahl des Schraubenkopfes entscheidet also über die Einsatzmöglichkeiten und die Funktion der Kontaktschraube.

Sollbruchstelle

Die Sollbruchstelle gewährleistet, dass die Schraube bis zum vorgesehenen Anzugsmoment festgezogen wird, ohne dass ein Drehmomentschlüssel erforderlich ist.

Kontaktschrauben, die nicht ordentlich montiert wurden, fallen durch den noch vorhandenen Schraubenkopf auf, was die Montagefehler reduzieren hilft.

Mit dem Abscheren des Schraubenkopfes übernimmt der Schraubenhersteller die Garantie für den optimalen Kontaktdruck.

Der Abscherwert für die Schraube ergibt sich über den Durchmesser eines eingebrachten Einstichs. Dieser Wert kann aufgrund modernster Fertigungsverfahren auf +/- 1Nm genau festgelegt werden.

Nach dem Abscheren des Schraubenkopfes kann eine raue, scharfkantige Bruchfläche zurückbleiben. Das kann bei Schrumpfmuffen dazu führen, dass die Schrumpfschläuche beim Aufschieben oder Schrumpfen beschädigt werden.

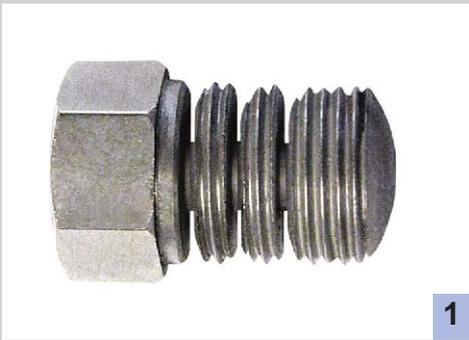
Um dem vorzubeugen, wurden Kontaktschrauben mit versenkter Bruchstelle (4) entwickelt, bei denen die Bruchfläche innerhalb eines abgerundeten Randes vertieft angeordnet ist, so dass keine scharfen Kanten hervortreten können.



4

AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE

Sollbruchstelle (Fortsetzung)



Bei Kontaktschrauben, die einen größeren Querschnittsbereich abzudecken haben und wo der zulässige Schraubenüberstand nach der Montage begrenzt ist, wird mit mehreren Sollbruchstellen gearbeitet. Da sich diese Bruchstellen auf engem Abstand zueinander befinden, müssen sie in ihrer Ausdehnung möglichst schmal sein, um dazwischen noch ausreichend tragfähiges Gewinde zu erhalten. Damit entfällt bei Kontaktschrauben mit mehreren Sollbruchstellen die Möglichkeit, jede Bruchstelle zu versenken.

Um trotzdem eine muffengerechte Bruchfläche zu erreichen, werden an den Sollbruchstellen zusätzlich Facetten (1) angebracht, die den Auslauf des Schraubengewindes entschärfen.

Ein weiterer Grund, mehrere Sollbruchstellen an einer Kontaktschraube anzubringen, ist die Entkopplung der verschiedenen Wirkungen einer Schraube.

So kann zum Beispiel bei einer Frässhraube (2) die erste Sollbruchstelle auslösen, sobald der Fräsvorgang beendet sein soll. Der vorher rotierende Frästeller wird damit zu einem stillstehenden Druckteller. Beim weiteren Festziehen der Schraube werden die Einzeldrähte mehrdrätiger Leiter verdichtet, bis das Abscheren des Schraubenkopfes den Montagevorgang abschließt.

Solche Schrauben wurden entwickelt, um mehrdrätige Leiter nach TGL-Standard kontaktieren zu können. Sowohl bei der Anzahl als auch bei der Breite der Sollbruchstellen ist zu beachten, dass jede Unterbrechung des Schraubengewindes dessen Tragfähigkeit reduziert. Deswegen sollte die Anzahl und die Breite der Bruchstellen klein gehalten werden.

Schraubenende

Das Schraubenende steht in direktem Kontakt mit dem Kabelleiter, weswegen ihm eine besondere Bedeutung zukommt.

Grundsätzlich sollte das Schraubenende den Kabelleiter großflächig berühren, um möglichst viele tatsächliche Kontaktflächen zu schaffen. Das bedeutet, dass der Gewindedurchmesser der Schraube so groß sein sollte, dass sie zum Beispiel bei Schraubverbindern den Klemmkanal in seiner Breite weitestgehend ausfüllt.

Das hat außerdem den Effekt, dass bei mehrdrätigen Kabelleitern keine Einzeldrähte neben der Schraube verlaufen können, die dann am Stromübergang nicht beteiligt wären.

Das Ende einer Schraube für isolierte Kabelleiter muss die Leiterisolation durchdringen, was zum Beispiel mit Frässlitzen (2), einem Schneidkegel oder einer Spitze möglich ist. Die Schraube darf jedoch nicht so aggressiv sein, dass der Leiter selbst geschädigt wird (3).

Frässlitzen werden deswegen so ausgelegt, dass sie sich nach dem Durchfräsen der Leiterisolation mit Kunststoff zugesetzt haben und dadurch keine Schneidwirkung mehr aufweisen.



3

2

5

AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE

Schraubenende (Fortsetzung)

Schneidkegel (1) können so ausgelegt werden, dass sie sich nach dem Durchdringen der Isolation umstülpen und damit abstumpfen.

Eine Spitze am Schraubenende durchdringt die Leiterisolation relativ leicht. Sie ist jedoch nicht dafür geeignet, mehrdrähtige Leiter zu verdichten, da sich die Spitze einfach zwischen die Einzeldrähte schiebt. Außerdem lässt sich mit einer Spitze die Kontaktkraft nicht auf eine größere Fläche verteilen, das heißt, die Anzahl der tatsächlichen Kontaktflächen reicht nicht zur Übertragung größerer Ströme.

Das Ende einer Kontaktschraube für blanke Kabelleiter wird in der Regel als ebene Fläche oder als Kugelkalotte ausgeführt. In vielen Anwendungsfällen genügt eine ebene Fläche, mit welcher der Leiter großflächig verdichtet und die Kontaktkraft aufgebaut werden kann.

Bei anderen Anwendungen ist es erforderlich, dass die Schraube teilweise in den Leiter eindringt, um durch einen größeren Umformgrad noch mehr tatsächliche Kontaktflächen zu schaffen.

Diese Eindringung ist am besten mit einer Kugelkalotte zu erzielen, wobei der Radius der Kalotte einen entscheidenden Einfluss hat (2).

Kugelkalotten mit einem kleinen Radius dringen gut in den Leiter ein, da ihre Berührungsfläche mit jeder Schraubenumdrehung nur langsam wächst, wodurch auch die Flächenpressung nur langsam zurückgeht.

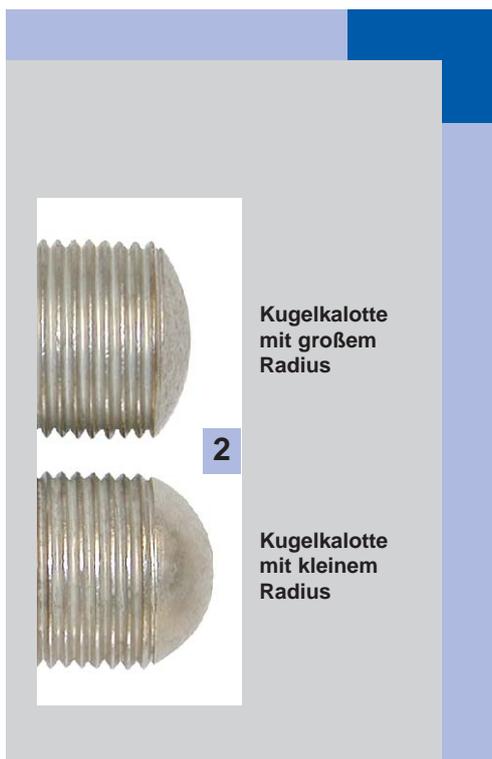
Der Nachteil von Kalotten mit kleinem Radius ist, dass zum Beispiel bei Schraubverbindern die Kontaktschraube sehr weit zurückgedreht werden muss, um auch den maximalen Leiter in den Klemmkanal einführen zu können. Das kann dazu führen, dass die Schraube aus dem Gewinde fällt und sich bei eingestecktem Leiter nicht mehr einschrauben lässt.

Also muss der Radius der Kugelkalotte so groß gewählt werden, dass sich auch der maximale Leiter in den Klemmkanal einführen lässt.

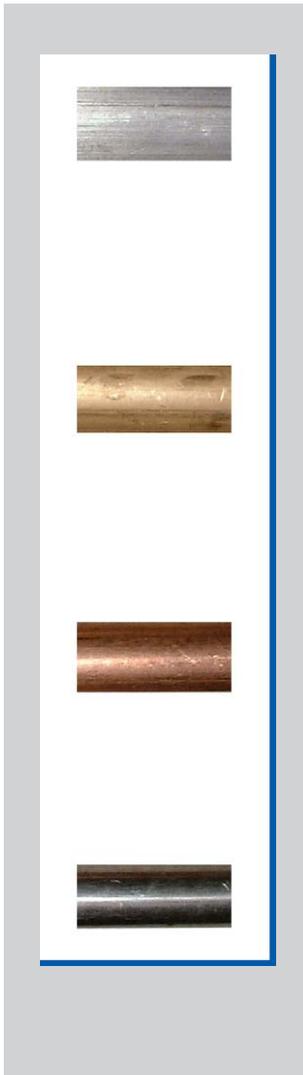
Die Kalotte mit größerem Radius dringt allerdings weniger tief in den Kabelleiter ein, da mit jeder Schraubenumdrehung die Berührungsfläche viel schneller wächst und damit auch die Flächenpressung schneller abnimmt.

Die Eindringung der Kontaktschraube in den Kabelleiter muss in jedem Fall so gewählt werden, dass keine Einzeldrähte durchtrennt werden.

Außerdem darf die Zugfestigkeit der Verbindung nicht unter den in der gültigen Norm geforderten Werten liegen. Solche Werte sind zum Beispiel in der IEC61238-1 vom März 2003 festgelegt.



Werkstoffe



Als Werkstoffe für Kontaktschrauben haben sich verschiedene Kupferlegierungen durchgesetzt. Aufgrund der hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit, der guten Bearbeitungsmöglichkeit und der problemlosen Verfügbarkeit im Handel bieten sie sich generell für elektrisch leitende Bauteile an.

Des Weiteren sind im Bereich der Kontakttechnik Aluminiumlegierungen zu finden. Die elektrische Leitfähigkeit von Aluminium liegt zwar nur bei ca. 2/3 von der des Kupfers, aber auch Aluminium lässt sich sehr gut bearbeiten und ist im Handel jederzeit verfügbar. Außerdem ist Aluminium preiswerter und leichter als Kupfer.

Die Entscheidung, ob eine Kontaktschraube aus Aluminiumlegierung oder aus Kupferlegierung sein sollte, hängt auch von den anderen Werkstoffen ab, die im Bereich der Kontaktstelle zu finden sind. Dabei spielen Aspekte wie Korrosion zwischen Kupfer und Aluminium oder Kaltverschweißen zwischen Aluminium und Aluminium eine Rolle.

Bei beiden Werkstoffen sind die Legierungsbestandteile wie Magnesium, Zink oder Blei entscheidend für die mechanischen und elektrischen Eigenschaften, wobei die elektrischen Eigenschaften sich mit nachlassenden mechanischen Eigenschaften verbessern und umgekehrt.

So gibt es keine Kontaktschrauben aus Kupferlegierung mit den mechanischen Eigenschaften von Stahl und den elektrischen Eigenschaften von Elektrokupfer. Je nachdem, ob die elektrische Leitfähigkeit oder die mechanische Tragfähigkeit überwiegen soll, muss die richtige Legierung gewählt werden.

Bei Anwendungen, in denen die Schraube eine überwiegend mechanische Funktion hat, braucht auf ihre elektrische Leitfähigkeit kein Wert gelegt zu werden. In diesen Fällen kommen Kontaktschrauben aus Stahl zum Einsatz, die nur die Aufgabe haben, den Kabelleiter in sein Kontaktbett zu pressen. Der Strom fließt direkt vom Leiter in das Kontaktbett, ohne dass die Schraube einen wesentlichen Teil davon tragen würde.

WERKSTOFFE UND OBERFLÄCHEN

Oberflächen

Auf die Beschichtung von Schrauben sollte besonderes Augenmerk gelegt werden.

Jede Schicht auf der Schraube verändert den Kontaktwiderstand zwischen der Schraube und einem anderen Körper.

Die Zusammensetzung sowie die Dicke der Beschichtung spielen hierbei eine große Rolle.

Bei Kontaktschrauben aus Kupfer- oder Aluminiumlegierung wird häufig die galvanische Verzinnung als Korrosionsschutz gewählt. Zum einen ist das Zinn neben seiner guten elektrischen Leitfähigkeit ein wirtschaftlicher und wirksamer Schutz, zum anderen hat das weiche Zinn den Vorteil, dass es bei der Kontaktierung infolge des hohen Kontaktdrucks partiell verdrängt wird.

Dadurch bildet es um die tatsächlichen Kontaktstellen einen Wall, der diese vor Feuchtigkeit oder Luftsauerstoff schützt.



Als optimale Dicke von Zinnschichten im Hinblick auf die elektrische Leitfähigkeit hat sich ein Wert von ca. 5-10 μm erwiesen. Um die tatsächlichen Kontaktstellen überhaupt schaffen zu können, ist eine ausreichend große Kontaktkraft erforderlich. Die Größe der Kontaktkraft hängt auch von der Reibung im Gewinde und an den Auflageflächen der Schraube ab. Bei ungünstigen Verhältnissen können bis zu 90% des Montagemoments durch Reibung verloren gehen und nur 10% werden direkt in Kontaktkraft umgesetzt.

Die Praxis hat gezeigt, dass Festschmierstoffe auf der Basis von Molybdändisulfid geeignet sind, eine niedrige Reibungszahl zu schaffen. Der Schmierfilm ist sehr dünn, geschlossen und glatt. Durch den grifffesten Film sind die Schrauben gut zu handhaben und die Reibverhältnisse genau definiert.

Bei mehreren Versuchen hat sich außerdem gezeigt, dass bei Kontaktschrauben, die mit Festschmierstoffen beschichtet sind, die Streuung der elektrischen Werte an der Kontaktstelle viel geringer ist als bei Kontaktschrauben, die nicht oder mit ungeeigneten Schmierstoffen beschichtet sind.

Der Temperaturbereich, für den diese Schmierstoffe geeignet sind, ist mit -180 °C bis $+300\text{ °C}$ ausreichend groß.

Es muss noch erwähnt werden, dass das Nachschmieren einer Kontaktschraube vor oder während der Montage unterbleiben sollte, denn dadurch können bestimmte Schmierstoffe wieder ausgewaschen werden. Außerdem kann eine ungewollte chemische Reaktion zwischen ungeeigneten Schmierstoffen und den in der Muffe verwendeten Kunststoffen nicht ausgeschlossen werden.

ABSCHLIESSENDE ANMERKUNGEN

Montagehinweise

Wie bereits erwähnt, ist die Höhe des Kontaktdrucks mitentscheidend für den Kontaktwiderstand. Der Kontaktdruck zwischen Schraube und Kabelleiter wird im wesentlichen durch die Parameter Geometrie und Oberfläche der Schraube sowie das Anzugsmoment bestimmt.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist aber auch die fachgerechte Montage, da nur so das Soll-Anzugsmoment und damit ein minimaler Kontaktwiderstand erreicht werden können.

Wird über das Werkzeug neben der reinen Torsion auch Biegung in die Schraube eingeleitet, erhöht sich zum einen die Reibung im Gewinde, zum zweiten führt diese zusätzliche Biegung zu einer zusätzlichen Belastung der Sollbruchstelle, wodurch diese früher als bei reiner Torsion bricht.

Auch durch stoßartiges, ungleichmäßiges Führen des Werkzeugs schert der Schraubenkopf vorzeitig ab, wodurch bis zu 10% des Anzugsmoments verloren gehen können.

Außerdem ist bei der Auswahl einer Kontaktschraube mit Abscherkopf zu beachten, dass der Querschnittsbereich der Kabelleiter zum Abschermoment der Schraube passt. Das kann bedeuten, dass der Querschnittsbereich eines Schraubverbinders bei der Verwendung von Schrauben mit Abscherkopf kleiner ist als bei der Verwendung von Schrauben ohne Abscherkopf.

Des Weiteren muss beachtet werden, dass bei Kontaktschrauben mit mehreren Sollbruchstellen mindestens eine davon im tragenden Bereich des Gewindes liegen kann. Damit verlieren solche Schrauben gegenüber Kontaktschrauben ohne Abscherkopf oder mit nur einer Sollbruchstelle an mechanischer Belastbarkeit, was sich besonders bei kurzem Gewinde, zum Beispiel bei dünnwandigen Schraubverbindern, negativ auswirkt. Ohne wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Abscherwerte einer Kontaktschraube bleiben die verschiedenen Temperaturen, in denen diese zum Einsatz kommen kann. Nach einer Reihe von Untersuchungen lässt sich sagen, dass Kontaktschrauben aus verschiedenen Kupferlegierungen bei Temperaturen von -10 °C bis +45 °C innerhalb der vorgesehenen Toleranz von +/- 1Nm abscheren.

Schlussbetrachtung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in die konstruktive Gestaltung von Kontaktschrauben eine Vielzahl unterschiedlicher Parameter einfließen.

Die Auswahl der richtigen Schraube erfordert deshalb detaillierte Kenntnisse über den jeweiligen Anwendungsfall sowie das Montageverfahren. Außerdem spielen Erfahrung und persönliche Vorlieben des Anwenders bzw. Unternehmensphilosophien eine große Rolle.

Telefon
Zentrale
+49 (0) 89 / 4 36 04 - 0

Telefax
Zentrale
+49 (0) 89 4 31 68 88

Telefax
Vertrieb
+49 (0) 89 4 36 04 - 73

Internet
www.ARCUS-Schiffmann.de
info@ARCUS-Schiffmann.de

Sitz der Gesellschaft
Truderinger Str. 199
D-81673 München