

Festigkeitskennwert für die Bemessung von Clinch-, Stanzniet- und Blindnietverbindungen

Heiko Lang, IWE Wolf Georgi¹

Schlüsselwörter

Clinchen, Stanznieten, Blindnieten, Festigkeit, Bemessung, Festigkeitskennwert, Ersatzkraft

Einleitung

Für die Bemessung von metallischen Bauteilen und Schmelzschweißverbindungen werden in den meisten Fällen Festigkeitskennwerte genutzt, die mit einem Grenzzustand der elastischen Verformung (Streckgrenze) oder mit einer definierten, relativ geringen plastischen Verformung (Dehngrenze bei nichtproportionaler Dehnung) korrelieren. Nach Division dieser charakteristischen Kenngrößen durch Sicherheitsbeiwerte erhält man die für die Bemessung nutzbaren Bemessungswerte. Die Bemessung von mechanisch gefügten, punktförmigen Verbindungen hingegen erfolgt in der Praxis auf Basis von Höchstkräften, also den maximalen Kräften im experimentell ermittelten, quasistatischen Kraft-Weg-Verlauf. Bei Erreichen der Höchstkräfte liegen aber an den Verbindungen einschließlich des angrenzenden Grundwerkstoffes stets ausgeprägte plastische Verformungen und ggf. Anrisse vor. Es treten somit bleibende Schädigungen der Verbindung auf. Eine Alternative besteht in der Division der experimentell relativ einfach ermittelbaren Höchstkräfte durch als hinreichend groß erachtete Sicherheitsbeiwerte, wodurch bleibende Verformungen ausgeschlossen werden sollen. Diese Verfahrensweise baut auf Erfahrungen auf und führt häufig zu geringen Auslastungen, jedoch sind Überbeanspruchungen ebenfalls nicht auszuschließen. Einen Ansatz zur Bestimmung eines Streckkraft-Äquivalents für mechanisch gefügte Verbindungen liefert DELIN [1], wobei mittels der Auswertung von Merkmalen des Kraft-Weg-Verlaufs auf phänomenologischer Basis auf eine mit der Streckgrenze gleichwertige Kraft, das Streckkraft-Äquivalent geschlossen wird.

¹ Institut für Fertigungstechnik/Schweißtechnik, Technische Universität Chemnitz

Im Weiteren wird ein Festigkeitskennwert für Clinch-, Stanzniet- und Blindnietverbindungen vorgestellt, der in seiner Aussagekraft und Anwendbarkeit mit der Streckgrenze oder der Dehngrenze bei nichtproportionaler Dehnung gleichwertig ist. Dieser Festigkeitskennwert, der als Ersatzkraft bezeichnet wurde, repräsentiert ein Grenzkriterium zwischen dem Bereich der elastischen und der plastischen Verformung. Die Methode zu Bestimmung des Festigkeitskennwertes wird kurz beschrieben. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen des Forschungsvorhabens „Ermittlung von Festigkeitskennwerten für die konstruktive Auslegung von Clinch-, Stanzniet- und Blindnietverbindungen“ [2], IGF-Nr. 14889BR/1.

Methode der Kennwertermittlung

Der Ermittlung des Kennwertes lag der Ansatz zu Grunde, Flachproben mit Einpunkt-Überlapp-Verbindungen (Clinch-, Stanzniet-, Blindnietverbindungen) einer zyklischen, in Probelängsachse wirkenden, rein schwellenden Kraft $F = f(t)$ auszusetzen. Die Verlängerungen (Relativ-Verschiebungen) an den sich überlappenden Bauteilen über einem Zyklus werden gemessen. Die Verlängerung bei $F = 0$ (Unterkraft) kann als bleibende oder plastische Verformung l_u (Verlängerung bei Unterkraft) betrachtet werden. Bei $F = F_{\max}$ (Oberkraft) stellt sich die Verlängerung l_o (Verlängerung bei Oberkraft) ein. Die Differenz $l_o - l_u$ kann als elastische Verlängerung aufgefasst werden. Je Probe wurde einmalig mit 1000 Lastzyklen bei während der Prüfung unveränderter Unter- und Oberkraft sowie Frequenz geprüft. Die Frequenz betrug 0,5 Hz. Trotz des zeitlich veränderlichen Charakters der Prüfung liegt keine Schwingprüfung im eigentlichen Sinne vor, da die Zyklenzahl im Vergleich zu den bei Schwingprüfungen üblichen Lastwechselzahlen sehr gering ist. Kennzeichnend für jede Prüfung war die Oberkraft. Eine Versuchsreihe umfasste mehrere Oberkräfte bzw. Oberkraftniveaus, auf welchen jeweils 7 Proben geprüft wurden. Die gemessenen Verlängerungen können als normalverteilt angenommen werden. Der Nachweis der Normalverteilung kann mittels des Shapiro-Wilk-Tests erbracht werden [3; 4].

Die gemessenen Verlängerungen wurden für ausgewählte Zyklenzahlen über der Oberkraft aufgetragen. Eine exemplarische Auftragung zeigt Abbildung 1. Die Differenzen zwischen l_o und l_u werden durch die dargestellten Bänder repräsentiert. Hierdurch ist es möglich, jene Oberkraft zu bestimmen, mit welcher eine signifikante Zunahme der plastischen Verlängerung korreliert. Der Betrag dieser Oberkraft wird als der gesuchte Festigkeitskennwert betrachtet. Infolge von Setzungserscheinungen liegen an punktförmigen, mechanisch gefügten Verbindungen auch bei vergleichsweise geringen Belastungen bleibende Verformungen vor. Als wesentlich ist die deutliche und dauerhafte Zunahme dieser bleibenden Verformungen bei steigender Oberkraft zu werten. Für den ermittelten Kennwert wurde die Bezeichnung *Ersatzkraft* eingeführt, da dieser Kennwert bei punktförmigen, mechanisch gefügten Verbindungen die für Grundwerkstoffe anwendbare Streckgrenze oder Dehngrenze bei nichtproportionaler Dehnung ersetzen kann.

Die Festlegung der Ersatzkraft allein aus einem Diagramm, vgl. Abb. 1, ist mit Unsicherheiten verbunden. Vorteilhaft erwies sich die Einführung von Hilfskriterien. Für Clinch und Stanznietverbindungen konnte die Zunahme der bleibenden Verformungen mittels eines Differenzenquotienten quantifiziert werden. Der Differenzenquotient DQ beschreibt die Zunahme der bleibenden Verlängerung über zwei benachbarten Oberkraftniveaus $i+1$ und i :

$$DQ = (l_{u\ i+1} - l_{u\ i}) / (F_{o\ i+1} - F_{o\ i})$$

Auf Blindnietverbindungen konnte das Hilfskriterium Differenzenquotient nicht angewendet werden. Das typischerweise vorhandene Spiel infolge der Durchmesserdivergenz zwischen der Vorlochung an den Bauteilen und der Hülse des Blindnietes trägt zu Relativverschiebungen bei, wobei die eigentliche plastische Verlängerung Δl nach Spielausgleich nur einen Anteil der gesamten plastischen Verformung bildet, s. Abbildung 1. An den geprüften Verbindungen betrug die Durchmesserdivergenz $\approx 0,05$ mm, so dass sich bei einschnittigen Verbindungen ein gesamtes Spiel von 0,1 mm ergibt. Als Hilfskriterium wurde eine plastische Verlängerung $\Delta l = 100$ μm nach Subtraktion des Gesamtspiels von der gemessenen Verlängerung l_u definiert. Das Gesamtspiel und das Hilfskriterium besitzen zufällig den gleichen Betrag, sind jedoch von unterschiedlicher Natur. Jene Oberkraft, bei welcher erstmals eine plastische Verlängerung $\Delta l = 100$ μm auftritt, wurde bei Blindnietverbindungen als Ersatzkraft bezeichnet. Dieser Betrag $\Delta l = 100$ μm ist festgelegt worden und lässt sich aus dem mechanischen Verhalten der Blindnietverbindung selbst nicht ableiten.

Experimentelle Untersuchungen und Auswertung

Die Prüfung erfolgte an unterschiedlichen Verbindungsarten, Grundwerkstoffen und Blechdicken mittels einer für zyklische Belastung geeigneten Universalwerkstoffprüfmaschine. Die Probenabmessungen gehen aus Abbildung 2 hervor. Der Messung der Verlängerungen dienten an der Probe anliegende Makroaufnehmer mit einer Ausgangsmesslänge von 50 mm. Die Oberkräfte wurden nominell in einer Sekunde erreicht. Insbesondere bei höheren Lasten konnte die nominelle Kraftanstiegsgeschwindigkeit aus anlagentechnischen Gründen nicht realisiert werden, sodass das Erreichen der Oberkraft je Zyklus rund drei Sekunden erforderte.

Die mit Hilfe der beschriebenen Methode bestimmten Werte der Ersatzkraft F_E wurden in Tabelle 1 zusammengestellt. Weiterhin werden die Ersatzkräfte als auf die Höchstkraft der Verbindung bezogene Größe F_E/F_m angegeben. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand lässt sich für folgende Merkmale

- Beanspruchung: Scherzug,
- Verbindung: Clinchverbindungen (Rundpunkt, einstufig, Matrizendurchmesser 8 mm),
- Grundwerkstoff: duktile, unlegierte Stähle,
- artgleiche Grundwerkstoffe und
- Einzelblechdicke $1,00\text{ mm} \leq t \leq 2,00\text{ mm}$

ein Bereich der auf die Höchstkraft bezogenen Ersatzkraft von $0,54 \leq F_E/F_m \leq 0,67$ verallgemeinert angeben. Die Clinchverbindungen waren als einstufig mit einteiliger Matrize ohne Schneidanteil gefügte Rundpunkte ausgeführt. Die angegebenen Werte für F_E stellen charakteristische Werte dar, d. h. sie enthalten keine Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstandsgrößen. Nach Division durch einen Teilsicherheitsbeiwert können Bemessungswerte errechnet werden.

Anwendungsmöglichkeiten

Die Festigkeitskenngröße Ersatzkraft ist für überwiegend ruhend beanspruchte Clinch-Stanzniet- und Blindnietverbindungen anwendbar. Für ausgewählte Werkstoffe, Blechdicken und Verbindungssysteme liegen quantifizierte Kennwerte vor. Die bislang für Scherzug ermittelten Kennwerte lassen sich nach prinzipiell gleicher Methode auch für Kopfzug oder Beanspruchungen aus beiden Anteilen bestimmen. Obgleich der Zeitbedarf für die Ermittlung der Kennwerte im Vergleich zur Bestimmung der Höchstkraft groß ist, lässt sich die Kenngröße Ersatzkraft verallgemeinert für unterschiedliche Bemessungsaufgaben entsprechend der zu Grunde gelegten Werkstoffe, Blechdicken und Verbindungssystem anwenden. Die Sicherheit der konstruktiven Auslegung wird erhöht. Potenzielle Anwendungsgebiete liegen z. B. in der Feinblech verarbeitenden Industrie.

Ausblick

Neben den hier dokumentierten phänomenologischen Untersuchungen erfordert das Verständnis einer elastischen Grenzbeanspruchung mechanisch gefügter, punktförmiger Verbindungen die Untersuchung von Einflüssen des Grundwerkstoffes, der Geometrie der Verbindung und der Parameter des Fügeprozesses. Die Qualifizierung dieser Kenngröße erfordert zudem umfangreiche Untersuchungen zur statistischen Verteilung dieses Festigkeitsmerkmals. Hierzu liegen lediglich erste Ergebnisse vor. Letztlich trägt die Anwendung der beschriebenen Methode der Versuchsdurchführung und Auswertung auf weitere Werkstoffe, Bauteilklassen, Verbindungssysteme und Belastungsarten zu einer wachsenden Datenbasis bei.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben, IGF-Nr. 14889BR/1, wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V. (EFB) finanziert. Für diese Förderung wird hiermit gedankt. Gleichfalls gilt der Dank den an der Projektbearbeitung beteiligten Unternehmen des Projekt begleitenden Ausschusses sowie der EFB.

Literatur

- 1 Delin, M.: Entwicklung eines Kennwertkonzeptes zur Bewertung der Tragverhaltens-eigenschaften mechanisch gefügter Verbindungen. Dissertation. Universität Rostock, 2008
- 2 Matthes, K.-J.; Riedel, F.; Lang, H.: Erarbeitung von Grundlagen für einen rechnerischen Festigkeitsnachweis von Clinchverbindungen. Abschlussbericht zu AiF-Forschungsvorhaben IGF-Nr.: BR07406/01, EFB-Nr. 237
- 3 Georgi, W.: Definition von Festigkeitskennwerten aus dem Kraft-Verlängerungs-Verlauf von punktförmig, mechanisch gefügten Verbindungen. Diplomarbeit, Technische Universität Chemnitz, 2007
- 4 Dietrich, E., Schulze, A.: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation. 6. Auflage. München: Hanser, 2009

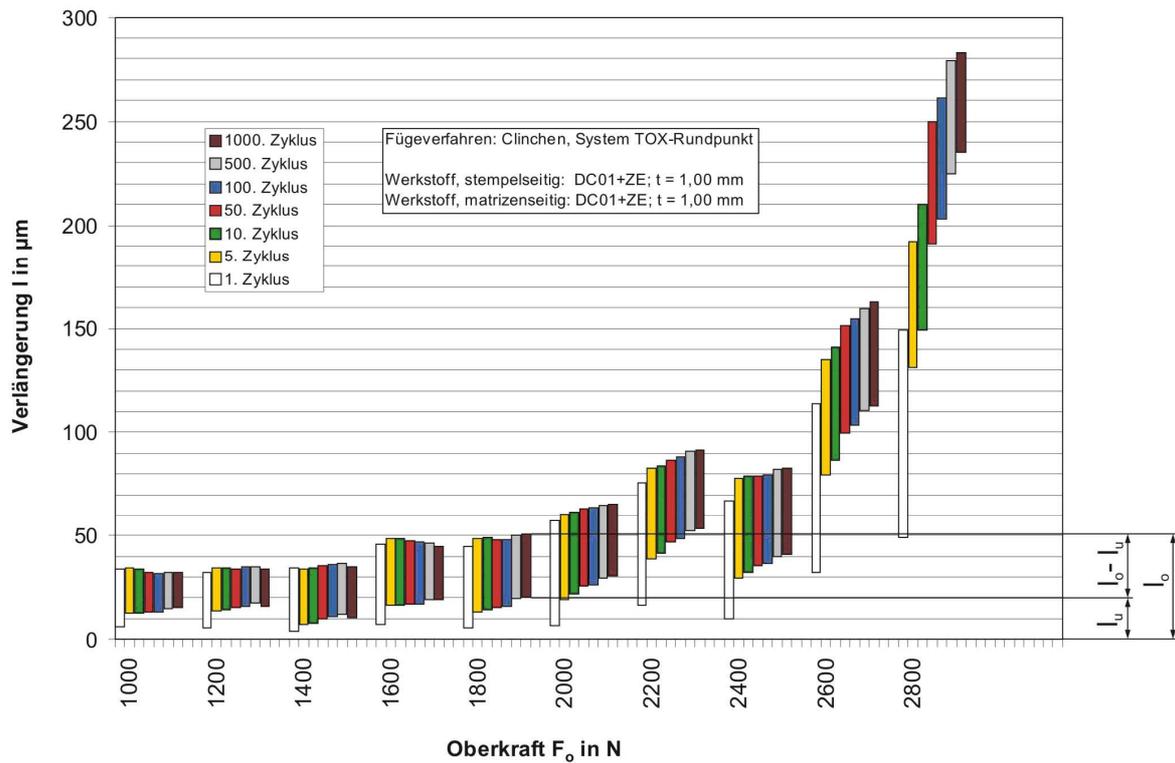


Abbildung 1: Auftragung der Verlängerungen I_u und I_o für ausgewählte Zyklenzahlen über der Oberkraft F_o (© Bild: IFS- Chemnitz)

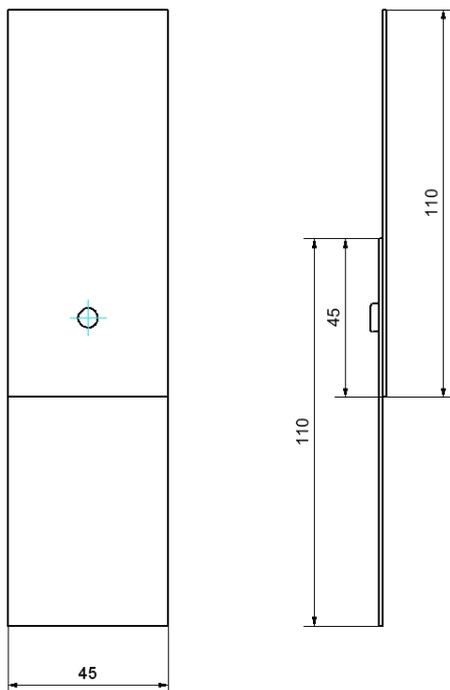


Abbildung 2: Probenabmessungen für Scherzugbeanspruchung (© Bild: IFS- Chemnitz)

Tabelle 1: Zusammenstellung der Ergebnisse für Ersatzkraft F_E (Beanspruchung: Scherzug, quasistatisch; Probe: Einpunkt-Flachprobe) (© Tabelle: IFS- Chemnitz)

Verfahren	Grundwerkstoffe 1 und 2*	Blechdicke $t = t_1 = t_2^*$	Verfahrensparameter	Höchstkraft F_m	Ersatzkraft (Grenzbeanspruchung) F_E	F_E/F_m
		mm		N	N	
Glinchen	DC04 LC	1,00	TOX-Rundpunkt, Matrizen-Ø 8 mm, Bodendicke 0,45mm	2255	1500	0,67
		2,00	TOX-Rundpunkt, Matrizen-Ø 10 mm Bodendicke 1,55mm	5327	4000	0,75
	DC01+ZE	1,00	TOX-Rundpunkt, Matrizen-Ø 8 mm, Bodendicke 0,45mm	3315	1800	0,54
	S235JR			2602	1600	0,61
	EN AW-6016T4	1,25	TOX-Rundpunkt, Matrizen-Ø 8 mm, Bodendicke 0,60 mm	2295	1600	0,70
	EN AW-5182H111	1,50		2456	1500	0,61
Stanznieten	DC04 LC	1,00	Halbhohlstanzniet, Böllhoff RIVSET® (C5x4,5 SKR H4)	3480	2400	0,69
	EN AW 6016T4	1,25	Halbhohlstanzniet, Böllhoff RIVSET® (C5x4,5 SKR H2)	3315	2000	0,60
	EN AW 5182H111	1,50		4381	2200	0,50
Blindnieten	DC04 LC	1,00	Blindniet, hülsenweitend, Titgemeyer M-LOCK 4,8 ST/ST	2314	1400	0,61
		2,00		5247	3200	0,61
	DC01+ZE	1,00		3048	2000	0,66
	S235JR			2383	1600	0,67
	EN AW 6016T4	1,25		2769	2200	0,79
	EN AW-5182H111	1,50		3360	2600	0,77

* Ziffer 1: stempel- bzw. setzkopfseitiges Blech; Ziffer 2: matrizen- bzw. schließkopfseitiges Blech