

## 17 Widerstandsschweißen

Das Widerstandsschweißen gehört zu den stoffschlüssigen Verbindungsverfahren, bei denen der Stoffschluß an den Verbindungsstellen durch einen örtlichen Schmelz- und Erstarrungsvorgang erzeugt wird. Aus metallurgischer Sicht muß das Widerstandsschweißen streng genommen den Schmelzschweißverfahren zugeordnet werden. Zu den bei Aluminium und seinen Legierungen praktizierten Widerstandsschweißverfahren zählen *Punktschweißen*, *Buckelschweißen*, *Rollennahtschweißen* und *Abbreinstumpfschweißen*. Von den Widerstandsschweißverfahren ist das Widerstandspunktschweißen das für die Blechverarbeitung wichtigste Verfahren und steht im Mittelpunkt der folgenden Betrachtungen. Seine Bedeutung im Karosseriebau ist durch die Entwicklung und fertigungstechnische Automatisierung der mechanischen Fügetechnik in der Vergangenheit zurückgegangen, da die Elektrodenstandzeit für eine automatisierte Fertigungsweise unzureichend war. U.a. scheinen aber neuere Entwicklungen wie Kupferbandelektroden eine Neubewertung einzuleiten.

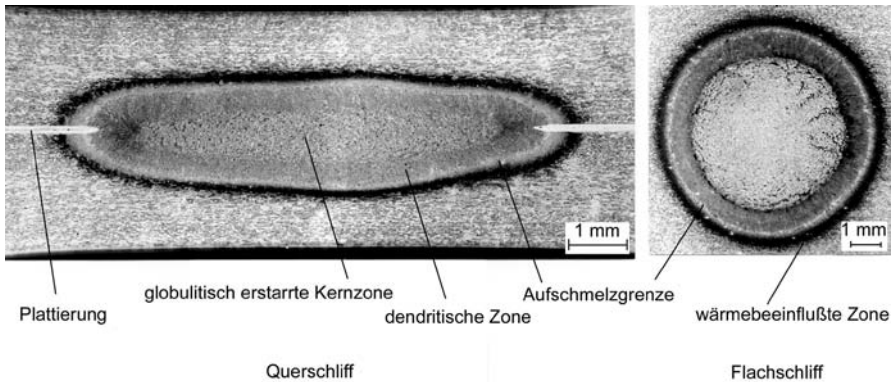
### 17.1 Widerstandspunktschweißen (WPS)

#### 17.1.1 Verfahrensprinzip

Beim Widerstandspunktschweißen entstehen punktförmige Überlappverbindungen zwischen zwei oder mehreren Blechen durch den Stromfluß über zwei Elektroden, die an der Kontaktstelle der Bleche eine Schweißlinse erzeugen, s. Bild 17.1.1. Das Verfahren beruht auf der Wärmeentwicklung bei Stromdurchfluß infolge des elektrischen Widerstands, der sich aus Stoff- und Kontaktwiderständen zusammensetzt.

An der Kontaktstelle zwischen beiden Blechen entsteht eine schmelzflüssige Zone, die bei der Erstarrung durch den Elektrodendruck unter hydrostatischer Druckspannung steht. Aus diesem Grunde können auch im Gegensatz zum Lichtbogenschmelzschweißen warmrißempfindliche Legierungen stoffschlüssig verbunden werden, wie das Beispiel der Punkt-

schweißverbindung an der hochfesten Legierung AA7475cl-T76 in Bild 17.1.1 zeigt.



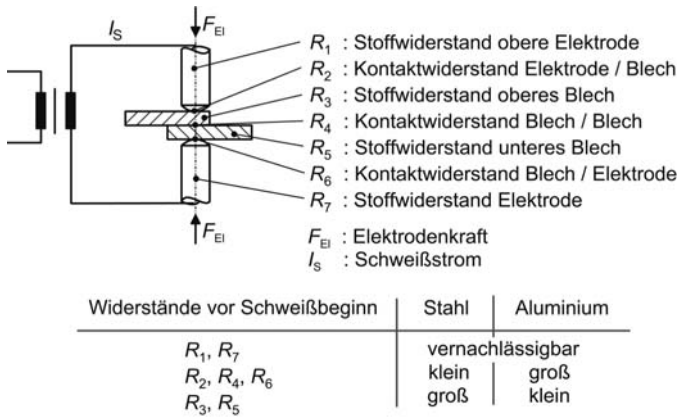
**Bild 17.1.1** Makrogefüge im Quer- und Flachschnitt durch einen Widerstandsschweißpunkt an 2 mm dicken Blechen der Legierung AA7475cl-T76 (Quelle: U. Krüger, SLV Berlin-Brandenburg)

Nach dem Joule'schen Gesetz wird die Schweißwärme  $Q_S$  [Ws] durch die Stromstärke  $I_S$  [A] und den Gesamtwiderstand  $R_S$  [ $\Omega$ ] während der Schweißzeit  $t_S$  [s] erzeugt. Die Konstante  $c$  entspricht dem Wärmeäquivalent.

$$Q_S = c \cdot I_S^2 \cdot R_S \cdot t_S \quad (17.1)$$

Der Gesamtwiderstand  $R_S$  an der Schweißstelle setzt sich zusammen aus den Kontaktwiderständen, den Stoffwiderständen der Elektroden und der Fügeteile, wie in Bild 17.1.2 dargestellt ist. Der eingestellte Schweißstrom erzeugt durch jeden dieser Widerstände Wärme und zwar proportional zum Verhältnis des Einzelwiderstandes zum Gesamtwiderstand. Vor allem die Kontakt- und Stoffwiderstände der zu verschweißenden Teile sind maßgebend für Unterschiede im Punktschweißverhalten zwischen Stahl und Aluminiumlegierungen.

Der Stoffwiderstand von Aluminium ist um das 2–4-fache geringer als der von Stahl. Umgekehrt ist die Wärmeleitfähigkeit von Aluminium etwa 3 mal so hoch wie die von Stahl. Für den WPS-Prozess mit Aluminium bedeutet dies etwa doppelt so hohe Stromstärken wie beim Stahl-Punktschweißen gleicher Dicke und die Notwendigkeit extrem kurzer Schweißzyklen, um den Wärmeabfluß zu beschränken. Entsprechend der hohen Stromstärken nimmt die thermische Belastung der Elektroden zu.



**Bild 17.1.2** Kontakt- und Stoffwiderstände beim Punktschweißen von Stahl und Aluminium (Leuschen 1992)

### 17.1.2 Übergangswiderstände der Fügeiloberfläche

Großen Einfluß auf das Schweißergebnis, insbesondere auf seine Reproduzierbarkeit, üben die Art und der Zustand der Aluminiumoberfläche aus, die immer mit einer dünnen, dichten und festhaftenden Oxidschicht überzogen ist. Die Oxidschicht ist sehr temperaturbeständig, wirkt elektrisch isolierend und ist daher maßgebend für den Übergangswiderstand. Ihre Beschaffenheit ist abhängig von der Legierungszusammensetzung, den vorausgegangenen Glühprozessen und den Lagerungsbedingungen. Glühen in Bündöfen führt trotz Schutzgasatmosphäre zu weniger gleichmäßigen Übergangswiderständen als Glühen im Banddurchlauf. Die Diffusion von Magnesium bei hochlegierten AlMg-Legierungen in die Oxidschicht unter Bildung von MgO führt zu einer dickeren Schichtdicke, höherem Übergangswiderstand und erschwert den Schweißvorgang.

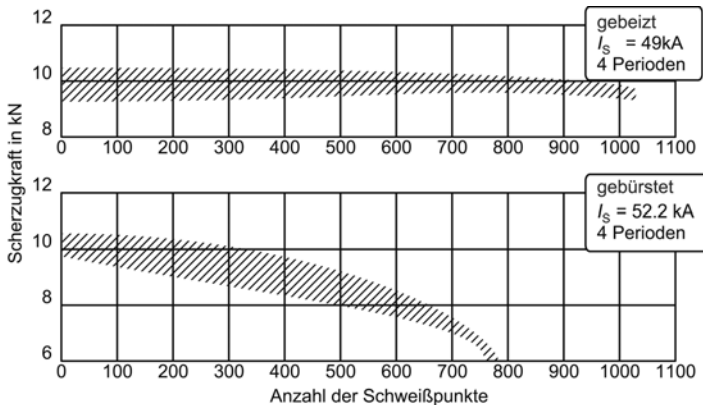
Noch wichtiger als ein möglichst niedriger Übergangswiderstand ist allerdings dessen Gleichmäßigkeit, ohne die eine reproduzierbare Schweißpunktqualität in der Serienfertigung nicht einzuhalten ist. In der Regel wird daher eine mechanische oder chemische Oberflächenvorbehandlung vor dem Fügen empfohlen. Dabei ist darauf zu achten, daß weder eine stärkere Oberflächenaufräuhung durch ungeeignete Bürstenqualität, noch eine ungewünschte Oberflächenveränderung beim Beizen (Entwicklung von sog. „Beizbast“) auftritt. Eine Anleitung zum Messen des Übergangswiderstands enthält das Merkblatt DVS-2929:2001.

Oberflächenvorbehandlungen von Bandmaterial werden zweckmäßigerweise vom Hersteller in entsprechenden Bandveredlungsanlagen

durchgeführt. Werden diese beim Verarbeiter vorgenommen, sind folgende Vorgehensweisen zu empfehlen:

1. Entfetten mit mild alkalischen Mitteln
2. Spülen (ggf. mehrstufig)
3. Beizen (Phosphorsäure)
4. Spülen (mehrstufig)
5. Trocknen (Heißluft).

Bei sachgemäßer Durchführung der Beizbehandlung wird der Kontaktwiderstand je nach Legierung und Prozeßparameter bis auf Werte zwischen 3 und 50  $\mu\Omega$  erniedrigt. Eine Zusammenstellung verschiedener Beizmittel und die Höhe der ermittelten Kontaktwiderstände findet man in (Eichhorn et al. 1977) oder (Schoer 2002). Die gebräuchlichsten Beizmittel sind alkalische Lösungen, z.B. 10–20%ige Natronlauge, und Mischsäure; letztere führt zu schonenderer Behandlung der Oberfläche als Natronlauge; außerdem ist die genaue Einhaltung der optimalen Beizzeit weniger kritisch (Falkenstein et al. 1981). Ein Beispiel für den Einfluß von mechanischen und chemischen Oberflächenvorbehandlungen auf das Punktschweißergebnis zeigt Bild 17.1.3.



**Bild 17.1.3** Einfluß der Oberflächenvorbehandlung auf die Punktfestigkeit in Abhängigkeit von der Elektrodenstandmenge. Legierung AlSi1MgMn-T6, Blechdicke 2 mm, Elektrodenkraft 8 kN, Ballenradius 300 mm (Eichhorn et al. 1977)

Grundsätzlich ist es möglich, Aluminiumbleche ohne Oberflächenvorbehandlung punktzuschweißen, doch ist die Prozeßsicherheit abhängig von den vorstehend aufgezeigten Voraussetzungen. Aus diesem Grunde sind Oberflächenbehandlungen dann sinnvoll, wenn keine gleichmäßigen Eigenschaften im Anlieferungszustand erwartet werden können.

### 17.1.3 Elektrodenverschleiß und Elektrodenreinigung

Während des Punktschweißprozesses werden die Blechoberflächen durch den hohen Elektrodendruck örtlich stark deformiert. Rauigkeitsspitzen durchdringen die spröde Oxidschicht und es kommt zu örtlichen Kontaktbrücken, über die der Schweißstrom fließen kann; durch die Wärmeentwicklung und weitere Deformation vergrößern sich die Kontaktbrücken, so daß der Kontaktwiderstand zunehmend zusammenbricht.

Die kombinierte Wärme- und Druckausübung beim Punktschweißen führt an der Kontaktstelle Elektrode/Blech zur Adhäsion von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{MgO}$ -Partikeln an der Elektrodenoberfläche sowie von Kupferpartikeln an der Aluminiumoberfläche. Dadurch erhöht sich der Kontaktwiderstand an der Übergangsstelle, wodurch die Anlegierungsvorgänge weiter zunehmen. Das Anlegieren zeigt sich in einer Dunkelfärbung des Elektrodeneindrucks auf dem Blech und in Anhaftung von Aluminium an der Elektrodenspitze. Die zunehmende Erwärmung an der Elektrodenspitze fördert die Verformung an der Elektrodenarbeitsfläche. Infolge Verbreiterung bzw. Abflachung nimmt die Stromdichte ab und damit verringert sich der Punktdurchmesser. Die Punkte knöpfen im Scherzugversuch nicht mehr aus, sondern scheren in der Berührungsebene der Bleche ab.

Abhilfe schafft ein konsequentes Reinigen der Elektrodenspitze, z.B. durch Bürsten nach jeweils einer bestimmten Anzahl von Schweißpunkten, s. Bild 17.1.4. Solche Zwischenreinigungen können auch in robotergeführten Zangenoperationen automatisch vorgesehen werden.



**Bild 17.1.4** Verbesserung der Elektrodenstandzeit durch Zwischenreinigung mittels Bürsten (Quelle: D. Boomer, Alcan)

### 17.1.4 Schweißbeignung von Legierungen

Durch die Druckausübung beim Widerstandsschweißen wird der Heißrißbildung entgegengewirkt. Bei den ausscheidungshärtenden Legierungen AlZnMg(Cu) und AlCuMg ist jedoch u.U. ein spezielles Druckprogramm zur Vermeidung der Rißbildung erforderlich (s. unten).

Weiterhin kann es beim Widerstandsschweißen zu einer Hohlraumbildung durch Herausspritzen von schmelzflüssigem Material kommen. Diese Hohlraumbildung im Linsenkern wird insbesondere bei Legierungen mit höheren Mg-Gehalten, wie z.B. AlMg3, AlMg4,5Mn und AlMgSi, beobachtet, was als Ursache den hohen Dampfdruck von Mg vermuten läßt (Pirner 1981). Auch dieser Hohlraumbildung läßt sich durch Anwendung eines Strom- und Druckprogrammes mit erhöhter Nachpreßkraft entgegenwirken. Solange die Fehler im Bereich der Linsenmitte liegen und ihr Ausmaß 15...20% des Punktdurchmessers nicht überschreitet, sind sie sowohl für das Festigkeitsverhalten als auch für die Korrosionsbeständigkeit kaum von Bedeutung (Steffens et al. 1971). Unbedingt zu vermeiden sind dagegen bis an die Blechoberfläche heranreichende Risse, die insbesondere die Schwingfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit deutlich vermindern können.

Fügen durch Punktschweißen in der Blechverarbeitung muß häufig in kaltverfestigten Bereichen vorgenommen werden. Kaltverfestigung erhöht geringfügig den elektrischen Widerstand, gleichzeitig aber auch den Eindringwiderstand gegenüber den Elektroden. Somit wirkt Kaltverfestigung günstig auf die Punktschweißbeignung (Leuschen 1992).

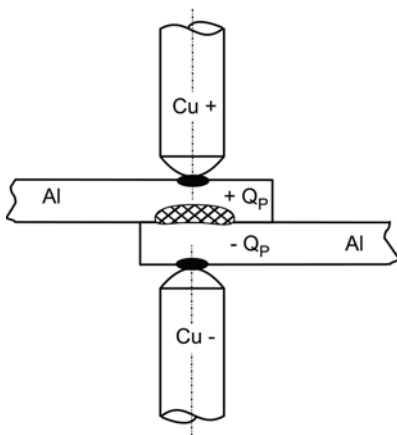
### 17.1.5 Maschinen und Elektroden

Das Widerstandspunktschweißen von Aluminium und seinen Legierungen erfordert spezielle maschinenseitige Anpassungen gegenüber dem WPS von Stahl (Hamm 1987):

- Zwei- bis vierfache Stromstärken,
- Schnelle Stromregelung,
- Kurze Schweißzeiten,
- Regelbare Strom-Kraftprogramme,
- Hohe Maschinensteifigkeit (Zangensteifigkeit),
- Dynamisches Nachsetzverhalten.

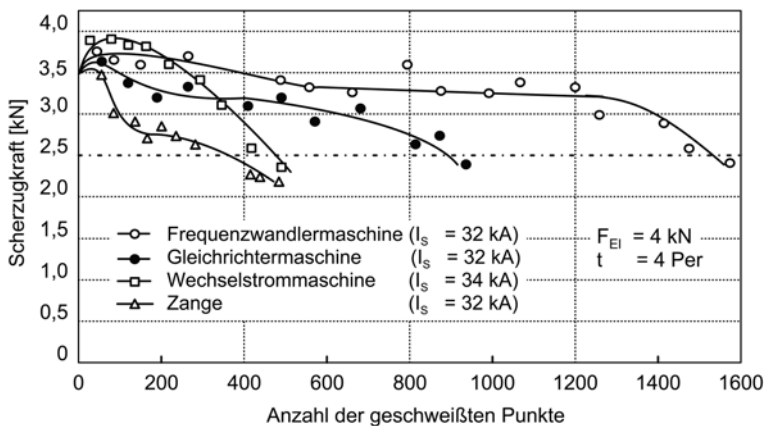
Bei vergleichenden Untersuchungen zum Einfluß der Stromform wurde festgestellt, daß bei Wechselstrom wegen der Abkühlpausen während der Stromnulldurchgänge eine höhere effektive Stromstärke notwendig ist als

beim Gleichstromschweißen (Eichhorn et al 1971). Wegen des sog. Peltier-Effektes, s. Bild 17.1.5, kann sich beim Gleichstromschweißen eine unsymmetrische Schweißlinseverlagerung und ein erhöhter Elektrodenverschleiß auf der Anodenseite ergeben, was bei der Wechselstromschweißung vermieden wird (Eichhorn et al 1971). Der Peltier-Effekt beruht auf der großen Potentialdifferenz (2 Volt) zwischen Kupfer und Aluminium in der elektrochemischen Normalspannungsreihe (s. Tabelle 5.4.1), wodurch beim Übergang von Elektronen von der Cu-Kathode auf das Al-Blech Peltier-Wärme verbraucht und beim Übergang vom Al-Blech zur Cu-Anode Peltier-Wärme frei wird. Die Verlagerung der Schweißlinse beim Gleichstromschweißen von Aluminium in Richtung der Plus-gepolten Elektrode kann man beim Schweißen ungleicher Blechdicken ausnutzen (Leuschen 1992).



**Bild 17.1.5** Peltier-Effekt beim Gleichstromschweißen von Aluminium

Punktschweißen von Aluminiumwerkstoffen mit Dreiphasenfrequenzwandler Schweißmaschinen wird im Flugzeugbau seit vielen Jahren eingesetzt. Nach vergleichenden Untersuchungen (Singh 1977) bieten diese nicht nur in anschlusstechnischer sondern auch in schweißtechnischer Hinsicht Vorteile gegenüber Einphasen-Wechselstromschweißmaschinen. Die gleiche Schlußfolgerung ist aus den Versuchsergebnissen in Bild 17.1.6 zu ziehen. Bei den Standmengenversuchen werden mit einer Frequenzwandlermaschine die größeren Elektrodenstandzeiten erzielt. Da hierbei die Polung bei jeder Schweißung wechselt, werden die Elektroden gleichmäßig belastet und verschleßen dementsprechend langsamer. Mit Zangen und mechanisch weicheren Maschinen werden schlechtere Ergebnisse erzielt, obwohl beim Schweißen mit Zange auch vergleichbar gute Ergebnisse erzielt werden können, wenn optimierte Verhältnisse gewählt sind.

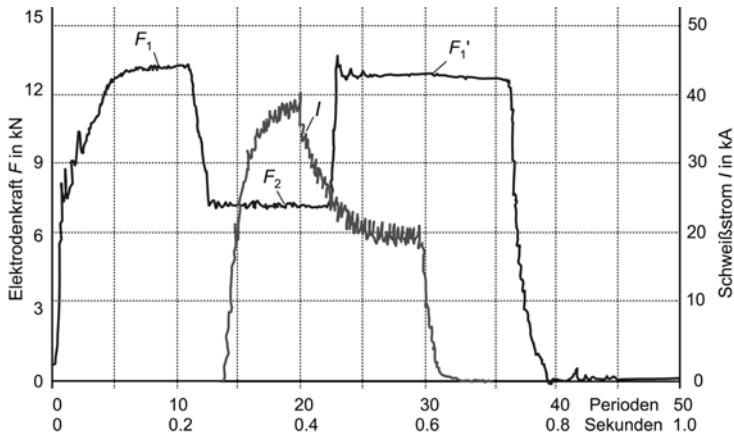


**Bild 17.1.6** Einfluß der Stromart und der Maschinenbauart auf die Elektrodenstandmenge (Leuschen 1992). Werkstoff: AlMg0,4Si1,2, Blechdicke  $t = 1,25 \text{ mm}$

Um qualitativ hochwertige Punktschweißverbindungen zu erzeugen, sollte ein *Strom-Kraft-Programm* verwendet werden, s. Bild 17.1.7. Die hohe Anfangskraft soll einen guten Kontakt zwischen Elektrode und Blech herstellen, um den Kontaktwiderstand gering zu halten. Dann wird die Elektrodenkraft gesenkt während gleichzeitig der Schweißstrom fließt, wodurch das übermäßige Eindringen der Elektrode in den erweichenden Werkstoff vermieden wird. Nach Erreichen der maximalen Stromstärke wird die Elektrodenkraft wieder erhöht, um die Bleche gegeneinander zu pressen, um Hohlraumbildung und Heißrisse zu vermeiden. Dieser Effekt ist vor allem bei hochfesten, hochlegierten Luftfahrtlegierungen zweckmäßig. Hierbei ist es wichtig, daß die Elektrodenkraft nach beendetem Stromfluß möglichst rasch ansteigt. Wird die erhöhte Nachpreßkraft erst mit Verzögerung wirksam, wenn der Werkstoff bereits erstarrt und fest geworden ist, so ist eine Verhinderung von Heißrisen und Hohlräumen nicht immer möglich (Harris 1954). Durch eine erhöhte Nachpreßkraft unmittelbar am Ende der Stromzeit läßt sich die Elektrodenstandmenge deutlich steigern. Erfolgt dagegen die Elektrodenkrafterhöhung erst eine Periode nach beendeter Stromzeit, so wird keine Standmengenerhöhung beobachtet (Rivett et al. 1980).

Wegen der kurzen Schweißzeiten und der raschen Erweichung von Aluminiumwerkstoffen mit zunehmender Temperatur soll das bewegliche Elektrodensystem erfahrungsgemäß masse- und reibungsarm ausgeführt werden, damit die Elektrode dem nachgebenden Werkstoff möglichst verzögerungsfrei nachsetzen kann. Dadurch wird die Neigung zur Spritzerbildung und die Anlegierungsneigung verringert.





**Bild 17.1.7** Strom/Kraft-Programm für das Widerstandspunktschweißen von Blechen aus Legierung AlCu4Mg1-T351 (AA2024cl), 1,6 + 1,6 mm (Quelle: U. Krüger, SLV, Berlin)

Die Elektroden haben die Aufgabe, Schweißstrom und Elektrodenkraft auf die Schweißstelle zu übertragen. Um die Anlegierungsneigung und die Elektrodenstanzdeformation gering zu halten, sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Geringer Kontaktwiderstand an der Elektrodenauflagestelle durch geringe Oberflächenrauigkeit und Anwendung hoher Elektrodenkräfte.
- Geringe Eigenerwärmung und Verformung der Elektroden durch große elektrische und Wärmeleitfähigkeit sowie hohe Warmfestigkeit.

Beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen werden üblicherweise ballige Elektroden empfohlen. Vorteil der balligen Elektrode ist der in der Anfangsphase erhöhte Druck in Elektrodenmitte, der zu einem sicheren Zerstören der Oxidhaut führt. Typische Ballenradien für das Schweißen von Blechdicken zwischen 1 bis 2 mm sind  $R_{El} = 40$  bis 50 mm mit Elektroden durchmessern  $D_{El} = 16$  bis 20 mm.

Eine intensive Elektrodenkühlung ist beim Punktschweißen von Aluminiumwerkstoffen wegen der hohen Stromstärken von besonderer Wichtigkeit, um ein frühes Einsetzen von Anlegierung und Elektrodenverformung zu vermeiden. Die Elektrodenkühlung muß um so wirksamer sein, je größer die Punktfolge, d.h. Anzahl der Punkte pro Zeiteinheit ist.

Die Schweißdaten sind so auszuwählen, daß einerseits eine Schweißlinse ausreichender Größe erzielt und andererseits ein Spritzen verhindert wird. Die Einstellparameter sind abhängig von der Stromart, der Elektrodenform und -art, den Eigenschaften der Schweißmaschine, der Fügeiteil-

werkstoffe und -dicke sowie vom Oberflächenzustand. Der Punktdurchmesser wird durch einen Kopfzugversuch festgestellt, bei dem die Probe ausknöpft. Der mittlere Durchmesser der so geprüften Schweißpunkte ist erfahrungsgemäß etwa 10 % größer als der Linsendurchmesser, der jedoch nur metallographisch festgestellt werden kann. Richtwerte zum Punktschweißen enthält das DVS Merkblatt 2932:1985 Teil 3.

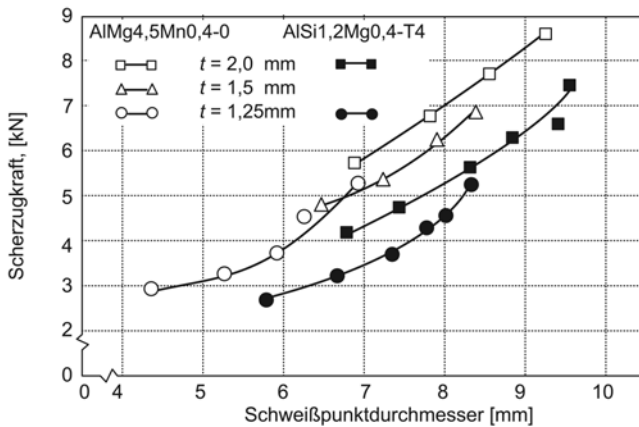
### 17.1.6 Festigkeitsverhalten von Aluminium-WPS-Verbindungen

Aufgrund der guten elektrischen Leitfähigkeit der Aluminiumwerkstoffe macht sich die Nebenschlußwirkung durch benachbarte Punkte weitaus stärker bemerkbar als bei Stahl. Bei Unterschreiten von Mindestwerten für den Punktabstand bzw. Reihenabstand muß mit einem Festigkeitsabfall der Schweißpunkte gerechnet werden.

Einschnittige Verbindungen von Blechen gleicher Dicke lassen sich am günstigsten verschweißen. Bei unterschiedlichen Blechdicken soll das Dickenverhältnis den Wert 3 : 1 nicht überschreiten; die Einstellwerte richten sich nach dem jeweils dünneren Blech. Zweischnittige Verbindungen lassen sich am günstigsten schweißen, wenn das dickste Blech in der Mitte angeordnet ist und die außen liegenden Bleche gleiche Dicke haben. Mehr als drei Blechlagen sollten nicht gleichzeitig verschweißt werden. Die Schweißungen sollten zweiseitig, d.h. mit gegenüber stehenden Elektroden, ausgeführt werden, da beim einseitigen Punktschweißen ein starker Nebenschluß über das elektrodenseitige Blech vorliegt.

Die Punktschweißverbindungen sind möglichst so auszubilden, daß sie in erster Linie nur Scherkräfte aufzunehmen haben; die ertragbaren Kopfzugkräfte betragen in der Regel nur ca. 1/3 der Scherzugkräfte. Kopfzugkräfte werden mit der Kopfzugprobe nach DIN 50164:1982 geprüft.

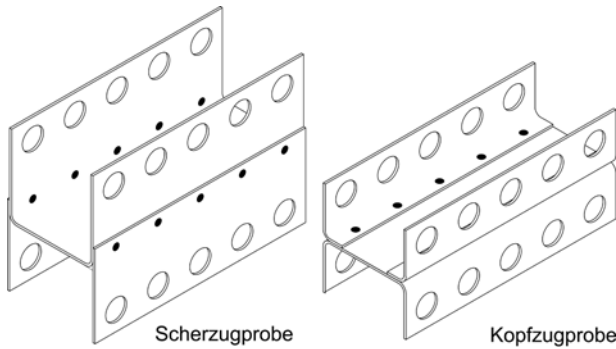
Die Scherzugfestigkeit von Punktschweißverbindungen wird durch Scherzugversuche nach DIN 50124:1977 ermittelt. Hierbei werden die Blechteile auf Zug und die Verbindungen auf Scherung beansprucht. Die Scherfestigkeit von Aluminiumpunktschweißverbindungen nimmt mit der Festigkeit des Grundwerkstoffes, der Blechdicke und mit dem Punktdurchmesser zu. Dabei ist jedoch bei den kaltverfestigten und aushärtbaren Legierungen vom weichen Werkstoffzustand auszugehen, da im wärmebeeinflussten Bereich die durch Verfestigung bzw. Aushärtung des Grundwerkstoffes erreichte Festigkeitssteigerung verloren geht. Für typische Karosserieblechwerkstoffe ist die Korrelation zwischen dem Punktdurchmesser und der Scherzugkraft in Bild 17.1.8 dargestellt. Um gleiche Scherzugkraft bei gleicher Blechdicke zu erzielen, ist bei der aushärtbaren Variante ein größerer Punktdurchmesser vorzusehen.



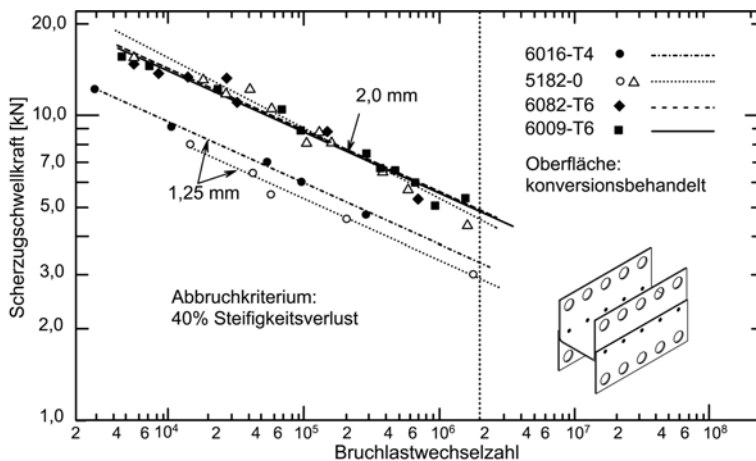
**Bild 17.1.8** Einfluß des Punktdurchmessers auf die Scherzugfestigkeit von AlMg5Mn (5182-0) und AlMg0,4Si1,2 (6016-T4) (Leuschen 1992)

Diese mit Einpunktproben gewonnenen Daten können jedoch nur als Anhaltswerte betrachtet werden, da die Mechanik der Einpunktprobe nicht alle wichtigen Beanspruchungskriterien erfüllt, die in einem Realblechbauteil auftreten können. Aus diesem Grund wird das mechanische Tragverhalten vorzugsweise mit den zwar aufwendigeren, aber aussagefähigeren H-Scherzug- und H-Kopfzugproben ermittelt, bei denen definierte Beanspruchungen unter Scherung und Kopfzug sowohl bei statischer als auch bei dynamischer Prüfung auf die einzelnen Verbindungspunkte aufgebracht werden, s. Bild 17.1.9. Es handelt sich hierbei um bauteilähnliche Proben, an denen realistische, ertragbare Schnittkräfte an Punktverbindungen bestimmt werden können (Schmid et al. 1993).

Mit Hilfe derartiger Prüfkörper ermittelter Schwingfestigkeitswerte zeigt Bild 17.1.10 (Rohde et al. 1996). Zusätzlich sind in Bild 17.1.10 Schwingfestigkeitsergebnisse mit der gleichen Probengeometrie für punktgeschweißte 2 mm dicke Bleche aus unterschiedlichen Legierungen angegeben (Singh et al. Audi AG, 1996). Man erkennt, daß der Legierungseinfluß auf die Schwingfestigkeit punktgeschweißter Blechbauteile vergleichsweise gering ist und von anderen Einflußfaktoren, wie der Kerbwirkung an den Schweißpunkten, überlagert wird.



**Bild 17.1.9** H-Prüfkörper für punktartige Verbindungen unter Scherzug- und Kopfzugbeanspruchung



**Bild 17.1.10** Scherzugschwellkraftwerte ( $R = 0,1$ ) von widerstandspunktgeschweißten, konversionsbeschichteten Karosserieblechlegierungen. Die Punktschweißungen wurden mit einer Gleichstrommaschine geschweißt und hatten einen Linsendurchmesser von  $d_L \approx 6$  mm. Die statischen Scherzugfestigkeitswerte von Schweißpunkten an 1,25 mm dicken Blechen der Legierungen 6016-T4 und 5182-0 betrugen 4,2 bzw. 4,8 kN (Rohde et al. 1996)

## 17.2 Buckelschweißen

Das Buckelschweißen bietet die Möglichkeit, mehrere Schweißbuckel gleichzeitig mittels eines Elektrodenpaares zu verschweißen. Infolge großer Elektrodenauflageflächen sind Stromdichte und Flächenpressung vergleichsweise gering und dementsprechend auch der Elektrodenverschleiß.

Schwierigkeiten beim Buckelschweißen von Aluminiumwerkstoffen ergeben sich aus der hohen elektrischen und Wärmeleitfähigkeit, die einen im Vergleich zu Stahl mehrfach höheren Schweißstrom erfordern. Weiterhin begünstigt die relativ geringe Warmfestigkeit ein schnelles Rückverformen der Buckel, so daß die Stromkonzentration u. U. vorzeitig verlorenggeht und das nichtgebuckelte Werkstückteil nicht mehr zuverlässig aufgeschmolzen wird. Dabei kommt es zu Schmorkontakten und Spritzern mit als Folge geringerer Punktqualität und möglicher Elektrodenbeschädigung (Eichhorn et al. 1981). Bei der Auswahl der Buckelform ist daher auf eine möglichst hohe Steifheit zu achten (Eichhorn et al. 1982).

Die Schweißparameter sind so aufeinander abzustimmen, daß eine ausreichende Energie bis zum Zurückdrücken des Buckels eingebracht wird. Als Richtwerte kann man die Angaben für das Punktschweißen zugrunde legen. Das Buckelschweißen kann sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom erfolgen (Leuschen 1992). Im letzteren Fall ist die Wahl optimaler Schweißparameter auf ein engeres Feld beschränkt als bei Gleichstrommaschinen. Bei Verwendung von Gleichstrom ist auf den Peltier-Effekt zu achten. Dieser gestattet, dem einseitigen Elektrodenverschleiß zu begegnen (Voraussetzung gleiche Fügeteildicke), indem das mit Buckeln versehene Blech zur Kathode gewandt verschweißt wird.

Auch zum Aluminiumbuckelschweißen erweist sich die Anwendung eines Elektrodenkraftprogrammes als vorteilhaft, bei dem durch herabgesetzte Vorpreßkraft die Rückverformung des Buckels vermindert und durch hohe Stauchkraft gegen Ende der Schweißung eine günstige Gefügeausbildung und ein geringer Fehleranteil erreicht wird (Eichhorn et al. 1981). Ohne Kraftprogramm und gutes Nachsetzverhalten des beweglichen Elektroden systems sind Hohlraumbildung sowie Rißentstehung in der Schweißlinse kaum zu vermeiden.

Es hat nicht an Bemühungen gefehlt, die Buckelform aluminiumgerecht zu gestalten. Die günstigsten Verhältnisse bieten sogenannte „Massivbuckel“, die z.B. durch Schlagen oder spanende Formgebung hergestellt werden können. Hiermit werden in Vergleich zu geprägten Buckeln günstigere Scherzugkräfte und größere Elektrodenstandmengen erzielt. Die Verwendung von Massivbuckeln bietet sich besonders bei Fließpreßteilen, wie z.B. Anschweißmuttern an, wo die Buckel gleichzeitig mit der Bauteilformgebung hergestellt werden können. Aufgrund dieser Ergebnisse konnten Vorschläge für die Formgebung von Aluminium-Anschweißmuttern entwickelt werden (Eichhorn et al. 1982. Beim Kreuzdrahtschweißen, wie es z.B. zur Herstellung von Drahtgittern aus Aluminium eingesetzt werden kann, bilden die punktförmigen Überkreuzungsstellen der Drähte eine Art

„natürliche Buckel“ dar. Befriedigende Torsions- und Kopfzugfestigkeitswerte lassen sich bei Aluminium-Kreuzdrahtschweißungen allerdings nur in einem engen Bereich für die Einstellparameter erzielen.