

Beanspruchungsgerechte Konstruktion eines thermisch hoch beanspruchten Bauteils aus dem Bereich des Akkumulatorenbaus

Dao, T. H.; Engel, K.; Schmidt, A.

Neben den herkömmlichen Ansprüchen an das Festigkeitsverhalten von Bauteilen infolge einer mechanischen Beanspruchung erfordert die thermische Beanspruchungen bei der Konstruktion besondere Beachtung. Nachfolgender Artikel befaßt sich mit der konstruktionssystematischen Neugestaltung einer Trägerdichtleiste für einen automatischen Batteriebrückenschweißstand.

1. Einleitung

Innerhalb des Akkumulatorenbaus wird ein automatischer Batteriebrückenschweißstand eingesetzt, dessen Aufgabe darin besteht die Polfahnen der einzelnen positiven bzw. negativen Akkumulatorplatten miteinander zu verschweißen. Zu diesem Zweck werden zu Beginn eines jeden Schweißprozesses Akkumulatorplatten zu Plattensätzen zusammengestellt. Zwei von beiden Seiten der Mittel- leiste zusammenfahrende Kammleisten sorgen für eine Zentrierung und Ausrichtung der Polplatten und -fahnen. Die Fahnen der positiven und negativen Platten ragen durch die Aussparungen der rechts und links neben der Mittel- leiste postierten Kammleisten in den Brückenraum. Die Kammleisten, die Mittel- leiste und die von oben zufahrenden Polabdeckungen bilden einen nach unten abgedichteten jedoch nach oben offenen Raum (Bleinest). Die Zuführung des Bleilotes erfolgt mittels spezieller Aufnahmen an der Mittel- leiste. Darüber hinaus werden die beiden Batteriepole der Anoden- und Kathodenseite in speziellen Aussparungen der Kammleisten mit direkter Verbindung zum Bleinest postiert. Eine Abdeckvorrichtung gewährleistet, daß nur ein begrenzter Bereich für die Brückenbildung zwischen den Polplattenfahnen und den Polschuhen der Batterie der direkten Flammeneinwirkung ausgesetzt ist. Eine Beschädigung der Batteriepole wird somit verhindert. Die Flammen zweier paralleler von oben zufahrender Gasbrennerleisten (Propan- Sauerstoff- Gemisch) schmelzen in einem Zeitraum von ca. 10 Sekunden die auf der Mittel- leiste aufliegenden Brückenbleibarren sowie partiell die Plattenfahnen und die Polfüße. Es entsteht ein Bleibad

in dem durch Kammleisten und Mittel- leiste begrenzten Raum. Die Flammentemperatur während des Schmelzprozesses beträgt ca. 2800 °C. Nach dem Aufschmelzen des Bleis fahren die Brennerleisten zurück. Das flüssige Blei erstarrt zu je einer positiven und negativen Polbrücke zwischen den Plattenfahnen und Batteriepolen links bzw. rechts der Mittel- leiste. Die erstarrten Bleisätze werden durch Auseinanderfahren von der Mittel- leiste und den Kammleisten frei gegeben.

2. Istanalyse

Die in dem Batterieschweißstand eingesetzte Mittel- leiste ist ein multifunktionales Bauteil, welches neben der Trägerfunktion der Bleibarren in Kombination mit den Kammleisten Abdicht- und Zentrier- aufgaben übernimmt.

Die Mittel- leiste unterliegt sowohl einer mechanischen als auch thermischen Beanspruchung. Während die mechanische Beanspruchung im wesentlichen durch die Einspannverhältnisse und die Belastung der aufliegenden Bleibarren hervorgerufen wird, resultiert die thermische Beanspruchung aus der extremen Wärmeeinbringung während des Schweißvorganges. Wie aus den Temperatur- meß- schrieben (**Bild 2.1**) zu entnehmen ist, stellt sich ein nichtlineares und nichtsymmetrisches Temperatur- profil über die Höhe der Mittel- leiste ein. In beiden Fällen erfolgt damit eine Biegebeanspruchung der Leiste, wobei der Beanspruchungsverlauf im wesentlichen durch das sich einstellende Temperatur- profil bestimmt wird.

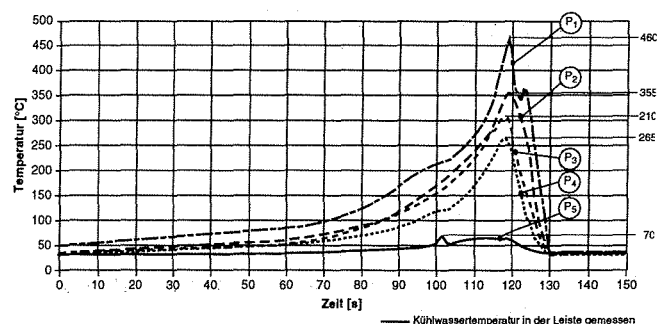


Bild 2.1 Temperaturmeßschriebe der Mittel- leiste

Nach Abschluß des Arbeitsvorgangs ist eine plastische Verformung (Durchbiegung) der Mittelleiste von 2 mm nachweisbar. Dieses setzt das Auftreten von Spannungswerten oberhalb der Streckgrenze des verwendeten Werkstoffes voraus. Als Folge der Verformung ist die Dichtfunktion, welche in Verbindung mit den Kammleisten erfüllt werden sollte, nicht mehr gewährleistet. Das aufgeschmolzene Blei dringt nach unten durch die Kammleisten in den Batteriekörper ein und führt zur Funktionsunfähigkeit des Akkumulators.

Nachfolgende Berechnungen sollen einen Überblick über die Beanspruchungen in der Mittelleiste geben. Als Eingangsgrößen für die Berechnung dienen die Temperaturverläufe aus dem Meßprotokoll sowie eine experimentell ermittelte, den Betriebsbedingungen angenäherte statische Belastung der Mittelleiste.

Die mechanische Beanspruchung der Mittelleiste erfolgt, neben einer vernachlässigbaren Auflagekraft durch die zu schmelzenden Bleibarren, über die von rechts und links unter die Leiste fahrenden Kammleisten.

Während des Zusammenfahrens der Kammleisten wird die an ihren Enden durch Bolzen geführte und federnd gelagerte Mittelleiste leicht angehoben, damit wird in die Leiste eine Kraft in vertikaler Richtung eingeleitet. Die Einspannungs- und Belastungsverhältnisse der Mittelleiste sind mit der nachfolgenden vereinfachten Darstellung zu beschreiben (Bild 2.2.)

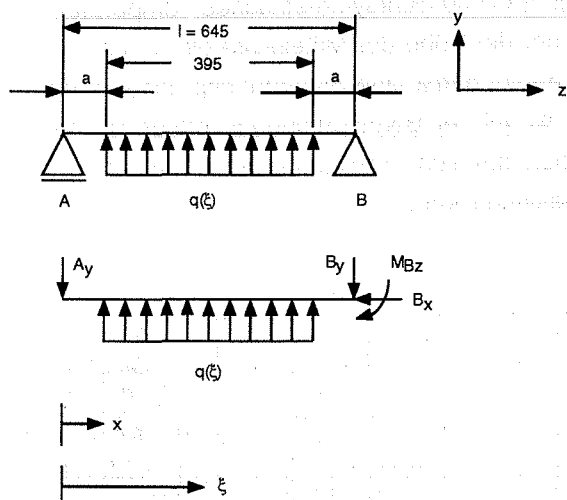


Bild 2.2 Ersatzschaltbild der Einspann- und Belastungsverhältnisse

Die eingeleiteten Lagerkräfte A_y und B_y wurden überschlägig ermittelt und für die nachfolgende Berechnung mit 110 N angesetzt. Mit Hilfe der Lagerreaktionen und den Gleichgewichtsbedingungen am Gesamtsystem wurde eine durch die Kammleisten hervorgerufene Streckenlast $q(\xi) = q_0$ errechnet. Für die weiteren Berechnungen wurde eine reine Biegebeanspruchung der Mittelleiste angenommen.

Infolge der extremen Wärmeeinwirkung auf die Mittelleiste während des Schweißprozesses bilden sich unterschiedliche Temperaturzonen über die Höhe der Leiste aus. Ein solches inhomogenes, nichtlineares und nichtsymmetrisches Temperaturprofil führt zu einer zusätzlichen Beanspruchung. Diese hat einen entscheidend höheren Einfluß auf die Durchbiegung der Leiste als eine rein mechanische Belastung durch die Kammleisten.

Gleichung (2.1) beschreibt die modifizierte Funktion der Biegelinie unter Berücksichtigung einer thermischen Beanspruchung /2/.

$$\frac{d^2 w(x)}{dx^2} = - \left[\frac{M_{Bz}(x) + M_{Bz, therm.}(x)}{I_z E} \right] \quad (2.1)$$

Für die weitere Berechnung wurde aus den Temperaturmeßschrieben (Bild 2.1) das in Bild 2.3 über die Höhe der Mittelleiste dargestellte Temperaturprofil $T(y)$ angenommen.

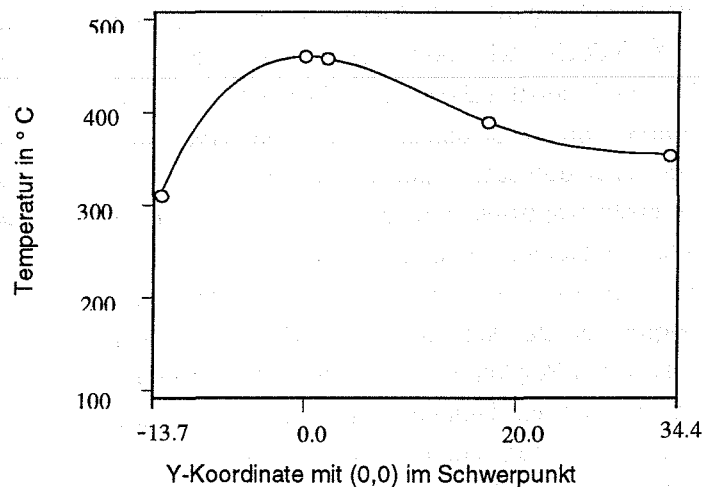


Bild 2.3 Temperaturprofil über die Höhe der Mittelleiste

Gleichung (2.2) beschreibt das aufgrund der thermischen Beanspruchung der Mittelleiste hervorgerufene Biegemoment /2/. Darin ist α der Temperatur-

ausdehnungskoeffizient, E der Elastizitätsmodul und ΔT die Temperaturverteilung.

$$M_{Bz \text{ therm.}}(x) = \int_A \alpha E \Delta T y dA \quad (2.2)$$

Die sich einstellenden Normalspannungen an dieser Stelle können mit Hilfe der Gleichung (2.3) ermittelt werden /2/.

$$\sigma_x(y) = -\alpha E \Delta T + \frac{F_L + F_{L \text{ therm.}}}{A} + \frac{M_{Bz}(x) + M_{Bz \text{ therm.}}(x)}{I_z} y - \frac{M_{By \text{ therm.}}(x)}{I_y} x \quad (2.3)$$

Dabei bedeuten F_L die mechanische Belastung, $M_{Bz}(x)$ das infolge der mechanischen Belastung hervorgerufene Biegemoment an der jeweiligen Stelle, $M_{Bz \text{ therm.}}(x)$ bzw. $M_{By \text{ therm.}}(x)$ die aufgrund der thermischen Beanspruchung eingeleiteten Momente (vgl. Gleichung (2.2)) und $F_{L \text{ therm.}}$ die durch die thermische Beanspruchung zusätzlich hervorgerufene Kraft (vgl. Gleichung (2.4)) /2/.

$$F_{L \text{ therm.}} = \int_A \alpha E \Delta T dA \quad (2.4)$$

Um die auftretenden Spannungen auf ein zulässiges Maß zu begrenzen, ist bei der Neukonstruktion der Mittelleiste darauf zu achten, daß die Einspannungsverhältnisse eine überwiegend freie Verformung des Bauteils zulassen ohne dabei jedoch die Dichtfunktion zu gefährden. Darüber hinaus ist eine möglichst symmetrische Temperaturverteilung anzustreben, um die Verformung infolge der Wärme- einwirkung möglichst gering zu halten.

3. Neukonstruktion der Mittelleiste

3.1 Anforderungsliste

- Integration der Mittelleiste in bestehenden Brückenschweißstand
- Abdichtung des Bleinestes gegen Polplattenfahnen und Kammleisten
- Geometrie bestimmt durch die Komponenten Brenner, Kammleisten und Bleibarren
- Zuführung der Bleibarren für den Lötvorgang durch Mittelleiste
- Gute Bearbeitbarkeit des Grundwerkstoffes
- Werkstoff der Mittelleiste darf nicht mit Blei verlöten
- Bleibadhöhe 15 mm

- Ertragbare thermische Beanspruchungen, kein plastischer Verzug
- Ertragbare Lastwechselzahl 50.000 pro Jahr bei der Fertigung von Batterien der Vierer-Serie (ca. 25 Lastwechsel/Std. bei einem 12 Stunden Zyklus pro Tag)
Arbeitszyklus : 10 s Aufheizen, 90 s Pause
- Nutzung des bestehenden Bauraumes ohne Umkonstruktion andere Elemente
(Abstandsmaß Oberkante Mittelschiene zu Unterkante des Brenners 60 mm; Abstandsmaß zwischen zwei Brennern 18 mm)
- Praxisnahe und schnell realisierbare Lösung
- Einfache Fertigung
- Kostenbewußte Gestaltung

3.2 Funktionsanalyse der Mittelleiste

Die Mittelleiste ist ein multifunktionales Bauteil. Ihre Gesamtfunktion läßt sich in eine Hauptfunktion, die des Abdichtens des Bleinestes gegen die Kammleisten und die Polplattenfahnen und die Nebenfunktionen, Bleiaufnahme für den Vorgang des Polbrückengießens und Führung der Kammleisten, untergliedern.

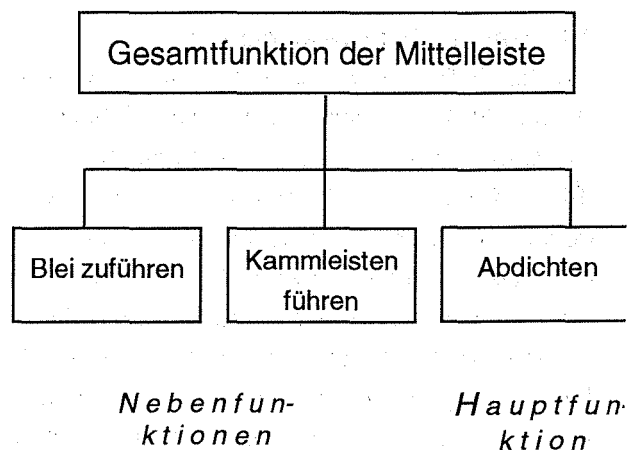


Bild 3.1 Funktionen der Mittelleiste

3.3 Lösungsfindung

3.3.1 Brainstorming

Zur Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten wurde ein Brainstorming durchgeführt. Dabei wurden alle Vorschläge ohne Einschränkungen auf deren Durchführbarkeit gesammelt und aufgelistet. Die so gefundenen Lösungsmöglichkeiten dienen als Ansatzpunkte für die Neugestaltung der Mittelleiste.

3.3.2 Auswahl und Verbesserung der Lösungskonzepts

Das anzustrebende Lösungskonzept basiert auf den im Brainstorming gefundenen Lösungsmöglichkeiten und der Umgehung der in der bestehenden Konstruktion erkannten Schwachstellen. Eine Grobbewertung der gefundenen Lösungsansätze unter Verwendung von Bewertungskriterien aus der Anforderungsliste wurde in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2225 durchgeführt. Die einzelnen Punkte erhielten eine Gewichtung von 0 (unbefriedigend) bis 4 (ideal).

Lösungsansätze	Gewichtung	Vorschläge aus dem Brainstorming								
		1: Zusatzabstützung	2: Trennung der Funktionen	3: Werkstoffwahl	4: Verwendung zweier Mittelleisten	5: Bereiten der Mittelleiste	6: Zwei kurze Leisten statt einer	7: Beharungszustand, krumm fertigen	8: Temperatursymmetrische Konstruktion	9: Wenden der Mittelleiste
Kriterien										
Integration in bestehenden Brückenschweißstand	1	1	4	4	0	2	1	4	4	0
Abdichtung des Bleinestes	1	2	4	3	1	3	2	4	4	3
Bearbeitbarkeit des Grundwerkstoffes	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Ertragbare thermische Beanspruchungen	1	0	4	3	3	4	3	3	4	3
Geringe Verformung	1	1	3	3	2	3	2	3	4	2
Nutzung des bestehenden Bauraumes	0,5	1	4	4	3	3	2	4	4	2
Fertigungsaufwand	1	2	3	3	1	1	1	3	1	1
Summe		8	21	19	10	16	11	18	22	11

3.4 Konstruktionsbeschreibung

Die Verwirklichung der Hauptfunktion der Mittelleiste das "Abdichten gegen die Polplattenfahnen und die Kammleisten" wird von den Nebenfunktionen "Blei zuführen" und "Kammleisten führen" abgetrennt und durch getrennte Funktionsträger realisiert. Die Abdichtung der Mittelleiste gegen die Kammleisten erfolgt durch stumpfes Gegenfahren. Somit kann die Dichtwirkung auch bei Verzug der Mittelleiste gewährleistet werden. Bei der Gestaltung des durch ein Rechteckprofil gebildeten Grundträgers wurde einer symmetrischen Temperaturverteilung Rechnung getragen. Auf Kühlkanäle wird verzichtet, da so infolge der größeren zu Verfügung stehenden Querschnitte die bessere Wärmeleitung einen schnelleren Temperaturengleich bewirkt. Das Verspannen kalter Zonen mit hohem Trägheitsmoment gegen heiße Querschnittszonen mit niedrigem Trägheitsmoment wird somit vermieden. Als Schutz gegen eine unmäßige Temperaturbeanspruchung während des Arbeitszyklusses wird an der Oberseite des Grundträgers ein Zuführungsblech für die abzuschmelzenden Bleibarren ange-

ordnet. Die horizontale Wärmeeinbringung in die Mittelleiste erfolgt über den direkten Kontakt zu dem flüssigen Blei. Durch den beidseitigen Kontakt kann sich nur eine Durchbiegung in der Vertikalen einstellen, die durch eine mittige Anordnung der Kontaktzone Blei/Mittelleiste unterbunden werden kann. Die Abkopplung der Nebenfunktion "Blei zuführen" wird durch das angesprochene von dem Grundprofil getrennte Zuführungsblech realisiert. Die mechanische und thermische Kopplung des Zuführungsblechs mit dem Grundträger wird durch loses Auflegen des Zuführungsbleches auf Wolframstifte vermieden. Die Nebenfunktion "Kammleisten führen" wird nur noch über die äußeren Führungen der Kammleisten im Schlitten vorgenommen. Auf ein Eingreifen der Kämme in die Mittelleiste wird verzichtet. Dehnungsbehinderungen durch die Kämme und Doppelpassung mit der Führung der Mittelleiste in den federbelasteten Bolzen werden so vermieden. Die Unterseite der Mittelleiste wird fertigungstechnisch günstig in einer Ebene ausgeführt.

4. Zusammenfassung

Durch eine beanspruchungsgerechte Konstruktion, welche hier im engen Zusammenhang mit einer Funktionstrennung in Haupt- und Nebenfunktionen des betreffenden Bauteils zu sehen ist, konnten nicht nur bestehende Mängel beseitigt werden zusätzlich wurde die Geometrie gegenüber der früheren Konstruktion erheblich vereinfacht. Damit konnte eine sowohl fertigungs- wie auch kostengünstige Lösung realisiert werden.

Literatur

- /1/ Dietz, P.:
Vorlesung Konstruktionslehre I - III
Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal
1993
- /2/ Göldner/Holzweilig:
Leitfaden der Technischen Mechanik
VEB Fachbuch Verlag Leipzig
- /3/ Pahl, G./Beitz, W.:
Konstruktionslehre
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
1977
- /4/ Hell, F.:
Grundlagen der Wärmeübertragung
VDI-Verlag GmbH Düsseldorf