

Integration der Klebflächenbehandlung in die Fertigung

M. Rasche

Ingenieurbüro Dr.-Ing. M. Rasche, Berlin

Zusammenfassung

In vielen Fällen muß vor dem Kleben eine Klebflächenbehandlung durchgeführt werden, da Klebverbindungen mit unvorbehandelten Teilen häufig zu geringe Klebfestigkeiten und/oder eine unzureichende Alterungsbeständigkeit aufweisen. Zur Klebflächenbehandlung stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Wenn mit mehreren Behandlungen klebtechnisch einwandfreie Verbindungen hergestellt werden können, gilt es, das Verfahren zu ermitteln, welches am besten in den Fertigungsfluß integriert werden kann und die geringsten Kosten verursacht. Dabei muß auch die Arbeitssicherheit und der Umweltschutz mit beachtet werden. Zur Beurteilung der Verfahren werden Bewertungskriterien gegeben. Die Verfahren werden abschließend kurz charakterisiert.

Summary

In many cases before bonding surface treatment is necessary, because the bond strength of bonded joints with untreated surfaces is poor and/or the durability is inadequate. For surface treatment there are a lot of methods. Often several methods of surface treatment yield good durability of the joints. In this case a treatment has to be found that is most cheap and integration in production is very well. Also the aspects of the safety of treatment and pollution of environment have to take in consideration. For valuing the methods of surface treatment criteria were given. The methods of surface treatment will be shortly described.

Résumé

En beaucoup de cas il faut d'exécuter un traitement des superficies avant coller qu doivent coller parce que les assemblages à coller avec des parties qui ne pas exécuter souvent montrer peu de résistance de vieillir. Il y a des procédés différents pour exécuter les superficies à coller. Lorsqu'il possible de réaliser des assemblages qui sont irréprochables en technique de coller avec plusieurs de traitements, il faut de trouver le procédé possible d'intégrer le mieux en production et coûte le moins. Il faut de faire attention à sécurité de travail et les conditions ambiants. Il y a des critères d'évaluations pour juger les procédés. En conclusion les procédés sont caractérisé bref.

Einleitung

In vielen Fällen muß vor dem Kleben eine Klebflächenbehandlung durchgeführt werden, da Klebverbindungen mit unbehandelten Teilen häufig zu geringe Klebfestigkeiten und/oder eine unzureichende Alterungsbeständigkeit aufweisen. Wie aus Bild 1 für Kunststoffe beispielhaft zu entnehmen ist, kann durch eine Vorbehandlung im Niederdruckplasma die Klebfestigkeit von Klebverbindungen mit Polyethylen (PE) beträchtlich gesteigert werden. Bild 2 zeigt, welchen

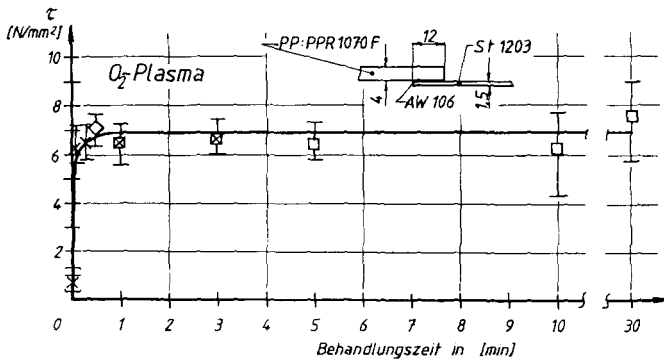


Bild 1: Klebfestigkeit von PE-Stahl-Klebverbindungen mit Epoxidharz in Abhängigkeit von der Behandlungszeit im Niederdruckplasma

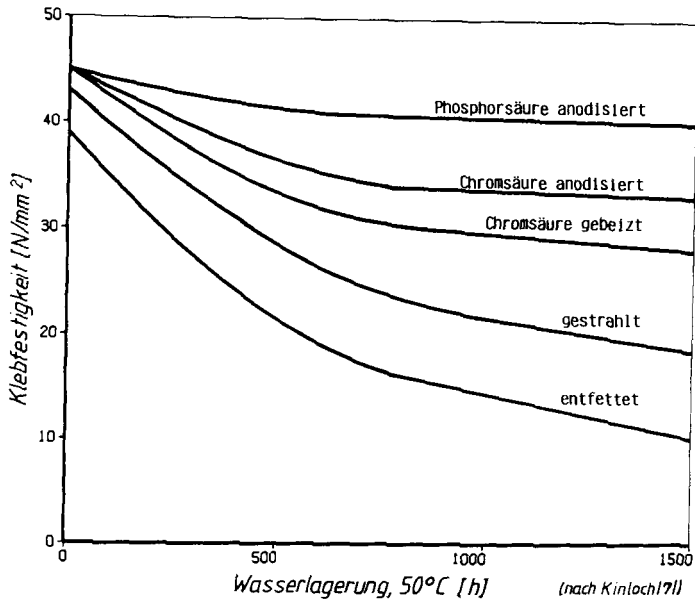


Bild 2: Einfluß der Klebflächenbehandlung auf die Alterungsbeständigkeit von Aluminiumklebverbindungen mit Epoxidharz

großen Einfluß die Klebflächenbehandlung bei Aluminium auf die Alterungsbeständigkeit der Verbindungen hat. Nur gebeizte und anschließend anodisierte Aluminium-Teile können so dauerhaft verklebt werden, daß diese Verbindungen im Flugzeugbau eingesetzt werden können /1/.

Die Klebflächenbehandlung ist ein zusätzlicher Arbeitsgang, der Kosten verursacht, weshalb sie in der Industrie nicht gerne eingesetzt wird. Eine von Beate Marwinsky, in Verbindung mit der Technischen Universität Berlin, durchgeführte Umfrage in klebstoffverarbeitenden Betrieben der Feinwerktechnik, der Elektrotechnik und der Elektronik /2/ ergab, daß 11 % der Betriebe ohne Vorbehandlung kleben, Bild 3. Sehr häufig werden einfache Reinigungs- und Entfettungsverfahren eingesetzt. Vorbehandlungsverfahren, die zu maximalen Festigkeiten und Alterungsbeständigkeiten führen wie das Beizen, das Strahlen und die Plasmabehandlung werden nur selten angewendet. Die gleiche Umfrage ergab aber auch, daß beim Einsatz der Klebtechnik häufig Benetzungs- und Haftungsprobleme auftreten, Bild 4 und daß die Alterungsbeständigkeit der Klebverbindungen von etwa einem Drittel der Firmen als unzu-

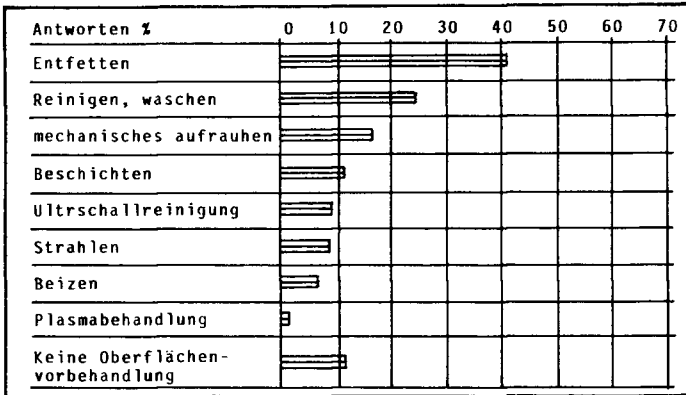


Bild 3: Häufigkeit der in der Industrie eingesetzten Klebflächenbehandlungsverfahren (nach Marwinsky /2/)

reichend beurteilt wird, Bild 4. Hieraus folgt, daß die oben aufgeführten Zusammenhänge zwischen Vorbehandlung und Festigkeit bzw. Alterungsbeständigkeit vielfach nicht bekannt sind oder unterschätzt werden.

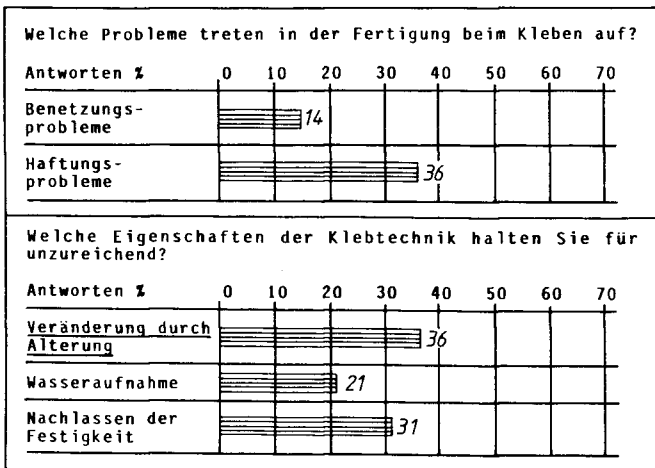


Bild 4: Beim Einsatz des Klebens auftretende Probleme (nach Marwinsky /2/)

Vorbehandlungsverfahren

Das einzusetzende Vorbehandlungsverfahren ist in erster Linie vom zu klebenden Werkstoff, von der erforderlichen Festigkeit und Alterungsbeständigkeit der Verbindung und vom verwendeten Klebstoff abhängig. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Integration der Behandlung in den Fertigungsfluß. Zusätzlich müssen die Kosten der Vorbehandlung berücksichtigt werden.

Derzeit gibt es sehr viele Vorbehandlungsverfahren, die für unterschiedliche Anwendungsfälle entwickelt wurden. Die Verfahren sind in Bild 5 zusammengestellt.

Beurteilungskriterien für die Klebflächenbehandlung

Bei der Beurteilung der Eignung der einzelnen Vorbehandlungsverfahren, einschließlich der Integration der Vorbehandlung in die Fertigung, ist eine große Anzahl von Kriterien zu berücksichtigen. Die Beurteilungskriterien sind in Bild 6 dargestellt.

Reinigen	
mechanische Vorbehandlung	Schmirgeln Bürsten Strahlen skelettierte Oberfläche
chemische Vorbehandlung	Beizen reaktive Gase
thermische Vorbehandlung	Gasflamme Plasmabogen
elektrische Vorbehandlung	Coronaentladung Niederdruckplasma
Beschichten	metallische Beschichtung nichtmetallische Beschichtung Anstrich Haftvermittler

Bild 5: Klebflächenbehandlungsverfahren

Wirksamkeit	<ul style="list-style-type: none"> - erforderliche Festigkeit und Alterungsbeständigkeit <li style="padding-left: 20px;">Zeitstandsfestigkeit (statische Last) <li style="padding-left: 20px;">dynamische Festigkeit - Wirksam an Hinterschneidungen sowie in Spalten und Bohrungen - Liegezeiteinfluß
Beeinträchtigung des Aussehens der Teile	
Stückzahl und Automatisierbarkeit	
Verfahrensdurchführung	<ul style="list-style-type: none"> - Aufwand (z.B. Beizbadansatz) - Dauer der Vorbehandlung <li style="padding-left: 20px;">Vorbereitung (z.B. entfetten) <li style="padding-left: 20px;">Behandlung <li style="padding-left: 20px;">Nachbehandlung (z.B. Trocknen) - Nachbehandlungsaufwand - Kontinuierlich oder diskontinuierliches Verfahren
Verfahrenssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> - Überwachbarkeit - Keine Beschädigung der Teile (z.B. Spannungsrisse) - Reproduzierbarkeit
Arbeitssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> - Belästigung oder Gefährdung des Bedienpersonals - Gefahr bei unvorhergesehenem Stillstand
Umweltfreundlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Abfallprodukte bei der Vorbehandlung: Art und Menge - Entweichen von Schadstoffen
Kostenaufwand	<ul style="list-style-type: none"> - Betriebskosten - Behandlungsdauer - Investitionskosten - Ausnutzung (Eignung für mehrere Werkstoffe) - Platzbedarf (apparativer Aufwand)

Bild 6 Bewertungskriterien für Klebflächenbehandlungsverfahren

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer Vorbehandlung ist, daß die Festigkeit und Alterungsbeständigkeit erreicht wird, die notwendig ist, damit die Klebverbindung während der Lebensdauer des Produktes die entsprechenden Kräfte übertragen kann. Da die Anforderungen an die Festigkeit und Alterungsbeständigkeit je nach Klebverbindung verschieden sind, muß die Wirksamkeit eines Verfahrens immer in Zusammenhang mit der Aufgabe der Klebverbindung gesehen werden. Beispielsweise genügt eine Coronabehandlung von Aluminium für den Einsatz in der Verpackungsindustrie; für Klebverbindungen in der Luftfahrt ist die Qualität dieser Vorbehandlung jedoch nicht ausreichend.

Die Wirksamkeit einer Vorbehandlung hängt vom Behandlungsverfahren, vom zu behandelnden Werkstoff und vom verwendeten Klebstoff ab. Während der Liegezeit, der Zeit zwischen dem Ende der Vorbehandlung und dem Klebstoff- oder Primerauftrag, kann sich die durch die Vorbehandlung erreichte Aktivierung der Oberfläche wieder vermindern. Dies muß bei fertigungsbedingten Liegezeiten berücksichtigt werden. Bei der Beurteilung der Wirksamkeit der Verfahren gilt es, weiter zu beachten, daß bisher fast ausschließlich Aussagen bekannt sind, die im Kurzzeitversuch ermittelt wurden. Diese Angaben können zur Dimensionierung von Klebverbindungen im allgemeinen nicht verwendet werden, da sich die Langzeitbeständigkeit (Dauerfestigkeit bzw. Zeitstandsfestigkeit) von Klebverbindungen - sowohl bei statischer als auch bei dynamischer Belastung - wesentlich von der Kurzzeitfestigkeit unterscheidet.

Der Einsatz eines Vorbehandlungsverfahrens wird häufig durch die Form der zu behandelnden Teile eingeschränkt. So kann beispielsweise mit der Coronabehandlung nur an solchen Stellen behandelt werden, die für die Elektrode zugänglich sind.

Beachtet werden muß auch, daß durch die Vorbehandlung das Teil nicht beschädigt wird. So können beim Beizen von Kunststoffteilen Spannungsrisse auftreten. Weiterhin darf ein Bauteil in seinem sichtbaren Bereich nicht in seiner optischen Qualität beeinträchtigt werden. Die Vorbehandlung sollte auch keine Auswirkungen auf die Alterungsbeständigkeit der Verbindung haben. Beispielsweise kann durch die Rediffusion von Säureresten, die während des Beizens vom Fügeteil aufgenommen wurden, in Zusammenhang mit eindiffundiertem Wasser, die Verbindung im Adhäsionsbereich zerstört werden /3/.

Wenn mehrere Behandlungsverfahren zu einwandfreien Verbindungen führen, gilt es, das Verfahren zu ermitteln, welches am besten in den vorhandenen Fertigungsfluß integriert werden kann und dabei die geringsten Kosten verursacht. Hierbei spielt die zu behandelnde Stückzahl und die Automatisierbarkeit des Verfahrens eine große Rolle. In die Kostenrechnung gehen auch Aspekte der Verfahrensdurchführung und -sicherheit ein. Natürlich dürfen auch die Gesichtspunkte der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes nicht vernachlässigt werden.

Charakterisierung der Klebflächenbehandlungen

In den Bildern 7 - 11 sind die unterschiedlichen Vorbehandlungsverfahren kurz charakterisiert. Auf eine Aussage über die Wirksamkeit der Verfahren wurde verzichtet, da alle Verfahren zum Vorbehandeln einge-

setzt werden und somit wirksam sind. Vergleiche der Wirksamkeit sind bei der großen Zahl der eingesetzten Werkstoffe und Klebstoffe sowie den unterschiedlichen Anforderungen an die Verbindungen nur schwer möglich. Hier müssen im konkreten Anwendungsfall die Ergebnisse der relevanten Behandlungsverfahren miteinander verglichen werden, wenn mehrere Vorbehandlungen in Betracht kommen.

Bei den Angaben zur Behandlungszeit wurde die Gesamtdauer einer Behandlung einschließlich gegebenenfalls notwendiger Vor- und Nachbehandlungen gewertet. So muß bei einem Haftvermittlerauftrag eine lange Behandlungszeit angegeben werden. Der Auftrag des Haftvermittlers selbst ist zwar kurzfristig durchgeführt, jedoch ist vorher eine Reinigung der Teile erforderlich und nach dem Haftvermittlerauftrag die Trocknung der Teile. Diese Betrachtungsweise wurde auch bei der Bewertung des Platzbedarfes, der Investitionen und der Betriebskosten angewendet.

Zu den einzelnen Vorbehandlungsverfahren sollen abschließend noch einige Anmerkungen gemacht werden:

Mechanische Vorbehandlung

Das Strahlen von Stahlteilen führt nicht nur zu hohen Kurzzeitfestigkeiten, sondern in vielen Fällen auch zu sehr guten Alterungsbeständigkeiten der Klebverbindungen. Gestrahlt werden können nur dickere Teile, da die beim Strahlen an der Oberfläche entstehenden Druckspannungen bei dünnen Teilen eine Verformung hervorrufen. Beim Strahlen entstehen Stäube, die dem Einsatz des Verfahrens entgegenstehen, da die auftretenden Verschmutzungen häufig störend sind. Die Verschmutzung ist beim Strahlen ohne Schutz, Bild 7,1 größer als beim Vakuumblastverfahren, Bild 7,2. Letzteres ist jedoch nur für ebene Flächen geeignet. Der Staubbildung muß auch beim Schmirgeln und Bürsten Beachtung geschenkt werden, da Stäube toxisch sein können. So fallen Kobald- und Nickelstäube unter die krebserzeugenden Arbeitsstoffe. Trotzdem wird das Schleifen oder Strahlen von Nickel als Vorbehandlung in der Literatur empfohlen. Bei der skelettierten Oberfläche wird ein Netz mit Druck und Wärme auf die Fügeteiloberfläche aufgebracht und anschließend wieder abgezogen /4/. Beim Abziehen bildet sich eine feine Fadenstruktur. Während die anderen mechanischen Behandlungen bei unterschiedlichen Werkstoffen anwendbar sind, eignet sich die Skelettierung der Oberfläche nur für fadenziehende Thermoplaste.



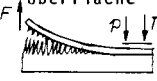
	mechanische Vorbehandlung		
	Schmirgeln Bürsten	Strahlen (1)  (2) 	skelettierte Oberfläche 
Geeignete Werkstoffe	Metall, Kunststoffe, Glas Keramik		Thermoplaste
Form der Teile	eben, zylindrische Teile	Formteile, nur dickere Teile	eben, zylindrische Teile
Behandlungszeit	kurz-mittel		kurz
Verfahren	diskontinuierlich, Nachreinigung		diskontinuierlich
Verfahrenssicherheit	Schleif- und Strahlmittel überwachen		gleichmäßiger Andruck
Verfahrensdurchführung	einfach		
Arbeitssicherheit und Umweltschutz	Staubbildung, Stäube können karzinogen sein		gut
Investitionen	sehr gering	mittel	
Platzbedarf	sehr gering	mittel	
Betriebskosten	gering	mittel	

Bild 7: Mechanische Vorbehandlung. (1) strahlen; (2) Vakublasterverfahren

Chemische Vorbehandlung

Das Beizen hat sich sowohl bei Kunststoffen als auch bei Metallen, hier in Verbindung mit dem Anodisieren, als sehr wirksames Verfahren erwiesen. Allerdings ist das Beizen ein aufwendiges Verfahren, da die Bäder angesetzt, überwacht und regeneriert bzw. beseitigt werden müssen. Nach dem Beizen müssen die Teile gespült und getrocknet werden. In einigen Fällen bedürfen die Teile auch noch einer Neutralisation. Die Spülflüssigkeiten werden durch das Beizmittel verunreinigt und können gegebenenfalls erst nach einer Behandlung ins Abwasser geleitet werden. Weiterhin entstehen Gefährdungen durch das Bad und seine Dämpfe.

Über die Behandlung mit reaktiven Gasen ist noch wenig bekannt. Das Verfahren eignet sich gut zur Innenbehandlung von Hohlkörpern.

	chemische Vorbehandlung	
	Beizen	reaktive Gase
Geeignete Werkstoffe	Metalle, Glas Kunststoffe	Kunststoffe
Form der Teile	Formteile, Probleme in engen Spalten	Formteile, Hohlkörper
Behandlungszeit	lang	keine Angabe
Verfahren	diskontinuierlich mit Spülen und Trocknen	diskontinuierlich
Verfahrenssicherheit	Beizbadüberwachung, Spannungsrisse	Gasüberwachung
Verfahrensdurchführung	aufwendig	einfach
Arbeitssicherheit und Umweltschutz	Gefahr durch Bäder und deren Dämpfe, Beizbadbeseitigung	Gefahr durch entweichende Gase, Restgase
Investitionen	gering - mittel	mittel
Platzbedarf	mit Spülen und Trocknen: hoch	gering - mittel
Betriebskosten	hoch	mittel

Bild 8: Chemische Vorbehandlung

Thermische Vorbehandlung

Bei der thermischen Vorbehandlung erfolgt die Veränderung der Oberfläche durch eine Gasflamme oder durch ein Plasmagas welches beim Durchtritt durch einen Lichtbogen erzeugt worden ist. Durch die elektrische Vorbehandlung ist das Beflammen vielfach verdrängt worden. Die offene Flamme wurde in vielen Fällen aus Sicherheitsgründen nur so lange akzeptiert, wie kein anderes Verfahren vorhanden war. Über die Behandlung mit dem Plasmabogen ist wenig bekannt. Da hier jedoch noch höhere Temperaturen als beim Beflammen auftreten, ist eine erhöhte Brandgefahr vorhanden.

	thermische Vorbehandlung	
	Gasflamme	Plasmabogen
Geeignete Werkstoffe	Kunststoffe	
Form der Teile	weitgehend ebene und zylindrische Teile	ebene und zylindrische Teile
Behandlungszeit	sehr kurz	
Verfahren	kontinuierlich	
Verfahrenssicherheit	Schädigung bei Stillstand	Schädigung schon bei kurzem Stillstand
Verfahrensdurchführung	einfach	
Arbeitssicherheit und Umweltschutz	Gefahr durch Hitze, Abgase, Brandgefahr	Gefahr durch Hitze, Brandgefahr
Investitionen	mittel	hoch
Platzbedarf	mittel	
Betriebskosten	mittel	

Bild 9: Thermische Vorbehandlung

Elektrische Vorbehandlung

Die Coronabehandlung zeichnet sich durch außerordentlich kurze Behandlungszeiten aus. Während bei der herkömmlichen Coronabehandlung nur ebene Flächen behandelt werden können, Bild 10,1, ist es mit Spezialelektroden möglich, auch räumlich geformte Teile zu behandeln: Formelektrode Bild 10,2; Anpassungselektrode (Kettenelektrode) Bild 10,3; Freistrahlelektrode Bild 10,4.

Die der Coronabehandlung verwandte Niederdruckplasmabehandlung weist immer eine längere Behandlungszeit auf, da vor der eigentlichen Behandlung in der Plasmakammer ein Vakuum erzeugt werden muß. Die Plasmabehandlung ist jedoch intensiver als die Coronabehandlung. Von der Verfahrenssicherheit und von der Umweltfreundlichkeit her ist die

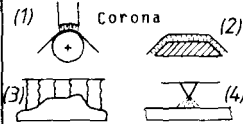

elektrische Vorbehandlung		
		
Geeignete Werkstoffe	Metall, Kunststoff Papier	Kunststoff, Glas, Metall?
Form der Teile	vorwiegend ebene Teile, mit Spezialelektrode auch Formteile	beliebige Formteile, in engsten Spalten, Hohlkörper
Behandlungszeit	sehr kurz	mittel
Verfahren	kontinuierlich	diskontinuierlich
Verfahrenssicherheit	hoch, Schädigung erst bei sehr langer Behandlungszeit	
Verfahrensdurchführung	einfach	
Arbeitssicherheit und Umweltschutz	Ozonbildung	geringe Abgasmenge giftig?
Investitionen	hoch	
Platzbedarf	mittel	
Betriebskosten	gering	

Bild 10: Elektrische Vorbehandlung. (1) Folienelektrode, (2) Formelektrode, (3) Anpassungselektrode, (4) Freistrahlelektrode.

Plasmabehandlung das eleganteste Verfahren. Als Vakuumprozeß weist sie eine hohe Arbeitssicherheit auf. Eventuell entstehende Schadstoffe fallen nur in geringen Mengen an und sind leicht abzufangen. Auch von der Form der zu behandelnden Teile her weist die Plasmabehandlung die geringsten Einschränkungen auf. Eine Behandlung in Spalten und Bohrungen ist möglich. Es können sogar kleinere Hohlkörper innen behandelt werden /5/.

Beschichten

Durch metallische und nichtmetallische Überzüge, sowie durch Anstriche von Metallteilen wird die Kurzzeitfestigkeit der Klebver-

	Beschichtungen			
	anorganisch		organisch	
	metallisch (verzinkt)	nichtmetall. (phosphat.)	Anstrich	Haft- vermittler
Geeignete Werkstoffe	Metalle			Glas, Metall, Kunststoff
Form der Teile	Formteile			
Behandlungszeit	lang			
Verfahren	diskontinuierlich			
Verfahrenssicherheit	Badüberwachung		gleichmäßig auftragen	dünn auftragen
Verfahrensdurchführung	aufwendig			
Arbeitssicherheit und Umweltschutz	Gefahr durch Bäder		Lösungsmittel	
Investitionen	mittel/hoch/sehr hoch			
Platzbedarf	hoch			
Betriebskosten	hoch			

Bild 11: Beschichten

bindungen im Vergleich zu entfetteten und mechanisch vorbehandelten Teilen häufig vermindert. Es wird deshalb empfohlen, den Lack von Metallteilen vor dem Kleben zu entfernen. Klebverbindungen von beschichteten Stahlteilen weisen jedoch vielfach eine bessere Alterungsbeständigkeit auf als mechanisch vorbehandelte Teile, wenn von gestrahlten Teilen abgesehen wird /6/. Diese sind bezüglich der Alterungsbeständigkeit den beschichteten Stahlteilen ebenbürtig. Die verminderte Kurzzeitfestigkeit kann folglich meistens in Kauf genommen werden.

Das Vorbehandeln von Teilen durch Beschichten ist aufwendig. Es bedarf daher sorgfältiger Überlegungen, wenn eine Beschichtung als Vorbehandlung eingesetzt werden soll. Vielfach läßt sich jedoch durch eine

kleine Änderung im Arbeitsablauf viel erreichen. Derzeit werden im allgemeinen die Teile zunächst geklebt und dann mit einem Anstrich versehen. Es wird somit auf das nackte Blech geklebt und die Verbindung weist nur eine relativ geringe Alterungsbeständigkeit auf. Wird jedoch erst lackiert oder grundiert und dann geklebt, sind Verbindungen mit hohen Alterungsbeständigkeiten zu erwarten.

Literaturangaben

- /1/ O.D. Hennemann: in: TUB-Dokumentation Kongesse und Tagungen
H.21, 1984
- /2/ B. Marwinsky: Diplomarbeit TU Berlin 1985
- /3/ Ch. Matz: Vortrag Tagung Fertigungssystem Kleben 1986
- /4/ G. Schmack: Vortrag Tagung Fertigungssystem Kleben 1986
- /5/ G. Bell Fa. BMP Plasmatechnologie, persönliche Mitteilung
- /6/ G. Breuel: TU Berlin, Dissertation in Vorbereitung
- /7/ A.J. Kinloch: in: Haftung als Basis für Stoffverbunde und
Verbundwerkstoffe, 1983