

Wege zu einer guten Vorbearbeitungsleistung

Toivo Janhunen

Die Verarbeitung von Glas, angefangen vom Siliziumdioxid bis hin zum Automobilglas, ist ein langer Prozeß, und es gibt viele Faktoren, die für die Qualität des Endprodukts eine Rolle spielen. Auf einige dieser Faktoren hat der Automobilglashersteller (sogar ein OEM) in der Regel keinen Einfluß, aber auf die Formung des Glases schon. Schneiden, Kantenbrechen und Schleifen sind allgemein bekannte Formgebungsverfahren, die in jedem Glasverarbeitungsbetrieb angewendet werden. Der vorliegende Artikel behandelt diese Verfahren und ihre Bedeutung für die Qualität des Endprodukts.

Qualität des Basiswerkstoffs

Eine gute Vorbearbeitung beginnt mit der Qualität des Basiswerkstoffs, in diesem Fall Floatglas. Das Glas sollte in einem Raum mit geringer Luftfeuchtigkeit gelagert werden, weil es bei höherer Luftfeuchtigkeit blind wird. Neben der korrekten Zusammensetzung ist die Kühltemperatur der Scheibe wichtig, da es sehr viel leichter ist, spannungsfreies Glas zu schneiden, ohne daß die Kanten abplatzen. Die Kühltemperatur hat auch einen Einfluß auf die Schneidparameter, zum Beispiel den Winkel des Schneidrades und den Druck. Außerdem muß Floatglas natürlich vorsichtig gehandhabt werden, um Kratzer und andere Beschädigungen zu vermeiden.

Genaueres Schneiden

Geschnitten wird mit einem Hartmetallrad. Das Schneidrad wird mit kontrolliertem Druck an die Glasoberfläche gepreßt. Es fährt über das Glas und ritzt dabei die Oberfläche ein.

Der typische Durchmesser eines Schneidrades zum Formschneiden beträgt 5–6 mm. Der Ritz in der Glasoberfläche wird durch eine scharfe Kante mit stumpfem Winkel verursacht (Bild 1).

Beim Schneiden von 1,5–3,0-mm-Glas hat die Schneide in der Regel einen Winkel von 140°, und der Schneiddruck entspricht 1000 g. Beim Schneiden von 2,8–4,2-mm-Glas beträgt der Winkel 145°, und der Schneiddruck entspricht 1500 g, bei 4,0–6,0-mm-Glas ist der Winkel 152° und der Druck 2000 g. Dies sind nur grobe Schätzungen, und viele Einzelheiten sind zu beachten: Wenn gerade Kanten geschnitten werden, sind Geschwindigkeiten bis zu 200 m/min möglich (beim Formschneiden bis 60 m/min), und bei höheren Geschwindigkeiten wird der Druck verringert und vielleicht auch ein

Schneidrad mit größerem Radius benutzt. Wenn die Schneide einen stumpferen Winkel hat, muß der Druck erhöht werden. Wenn es sich um weiches Glas handelt, kann der Schneiddruck reduziert werden. Dies sind die wesentlichen Parameter für das Schneiden. Außerdem sind die Oberflächenbeschaffenheit des Schneidrades und seine absolute vertikale Ausrichtung von Bedeutung. Geeignet sind nur Schneidräder mit einer Mindestdicke von 2,4 mm, weil die Radnabe leicht Abweichungen von der Vertikalen zuläßt. Die Qualität des Schnitts hat auch einen erheblichen Einfluß auf die Risiken beim Kantenbrechen, und oftmals liegt das eigentliche Problem beim Schneiden, wenn man nach dem Grund für ein mangelhaftes Ergebnis beim Brechen sucht.

Das Schneidrad ritzt die Glasoberfläche ein. Im allgemeinen ist der Ritz besser, je schneller der Schnitt ausgeführt wird (mit wenigen Ausnahmen). Es ist deshalb das Ziel, mit möglichst hoher Geschwindigkeit zu schneiden. Das Problem dabei ist jedoch, daß die genaue Steuerung mit zunehmender Geschwindigkeit immer schwieriger

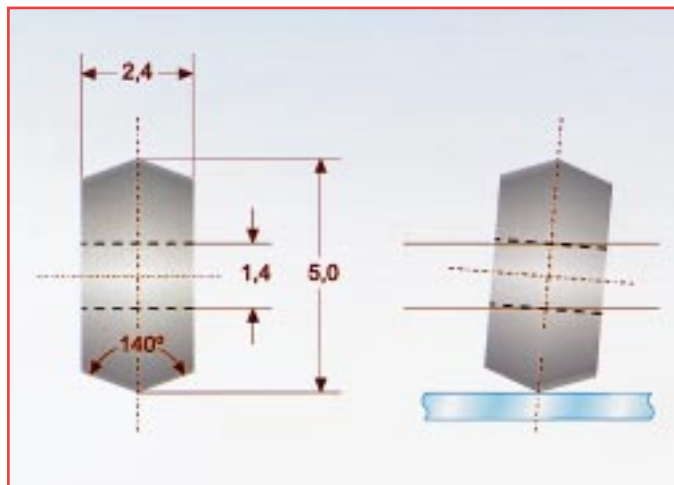


Bild 1: Maße des Schneidrades



Automatisches
Vorbearbeitungssystem Typ „APS-1325“ von Tamglass

wird. Deshalb ist es nicht ratsam, unregelmäßige Formen wie Seitenfenster und Windschutzscheiben mit einer höheren Geschwindigkeit als maximal 60 m/min zu schneiden, und Ecken sollten in jedem Fall mit niedriger Geschwindigkeit geschnitten werden.

Das Teil wird dann der Schnittlinie folgend herausgebrochen. Wenn zwischen Schneiden und Brechen eine Pause liegt, tendiert der Ritz dazu „zu heilen“, d. h. kleiner zu werden, und danach ist das Brechen schwieriger. Um das Auftreten dieses Phänomens zu vermeiden, verwenden wir Schneidflüssigkeiten, die in den Ritz eindringen und die Glasmoleküle bis zum Brechen daran hindern, sich zu vereinigen. Die Schneidflüssigkeit stabilisiert auch die Oberflächenverdichtung, die das Rad beim Schneiden hervorruft. Dadurch erhöht sich die Lebensdauer des Schneidrades, und der Ritz in der Glasoberfläche wird gleichmäßiger.

Als Schneidflüssigkeit kann ein Gemisch aus Kerosin und Schmieröl verwendet werden, aber ein Spezialgemisch, das außerdem umweltfreundlich und leicht abzuwaschen ist, ist vorzuziehen. Für einige Sorten von beschichtetem Glas müssen spezielle verdampfende Flüssigkeiten benutzt werden, um die Beschichtung zu schützen.

Die beim Schneiden erforderliche Genauigkeit hängt von der Art der Weiterverarbeitung ab. Bei der Herstellung von Windschutzscheiben ist die Toleranz in bezug auf die Kanten des Endprodukts größer als bei Seitenfenstern, aber bei Windschutzscheiben entsteht die endgültige Form durch Schneiden, bei Seitenfenstern

jedoch durch Schleifen. Bei Windschutzscheiben sind die Anforderungen an die Genauigkeit der Maschine und die Reproduzierbarkeit normalerweise eine Genauigkeit von $\pm 0,3$ mm bei $C_{pk} = 1,33$ und eine Reproduzierbarkeit von $\pm 0,15$ mm bei $C_{pk} = 1,33$ (wenn C_{pk} nicht bestimmt ist, entsprechen diese Werte einer Genauigkeit von 0,20 mm und einer Reproduzierbarkeit von $\pm 0,10$ mm).

Beim Schleifen von C-Kanten (Seitenfensterherstellung) ist der Schnitt für die Form der fertigen Scheibe nicht bestimmend, aber die Genauigkeit hat einen erheblichen Einfluß auf die Menge des Materials, das durch Schleifen entfernt werden muß.

Bei einer Glasdicke von 5 mm bedeutet das zum Beispiel:

- Wenn die Schnittgenauigkeit 100 % und das Kantenbrechen und die Einstellung perfekt sind, ist der Bereich des abzuschleifenden Materials mit einem Querschnitt von 1,5 mm² minimal.
- Bei normalen Verfahrensparametern (zusätzliches Abschleifen von durchschnittlich 0,4 mm) müssen 3,5 mm² abgeschliffen werden.
- Jede weitere systembedingte Ungenauigkeit von 0,1 mm fügt dem abzuschleifenden Material 0,5 mm² hinzu (14 %).

Richtiges Kantenbrechen

Wenn die Glasoberfläche durch das Schneidrad angeritzt worden ist, hat der Ritz eine Tiefe von ca. 20 % der Glasdicke. Zuerst (vor dem Brechen) muß der Einschnitt bis auf die Unterseite der Glasscheibe geöffnet werden. Dies kann durch leichtes Biegen oder durch Anwärmen der Glasoberfläche geschehen (thermisches Biegen). Diese Art des Öffnens ist zumindest an den Ecken notwendig; bei geraden Kanten ist es vielleicht nicht unbedingt erforderlich.

Nachdem die Schnittlinie aufgebogen worden ist, sind Rand und Mitte zwei einzelne Teile, die aber immer noch fest zusammenhängen und nicht getrennt werden können, ohne das Glas zu beschädigen (Abplatzen). Sie können nur getrennt werden, indem in den Rand Befreiungsschnitte gemacht werden und der Rand zuerst gebrochen wird. Gewöhnlich werden zumindest an zwei Ecken Befreiungsschnitte gemacht. Wenn das thermische Biegeverfahren angewendet wird, erleichtern die Befreiungsschnitte das Brechen erheblich, sind aber keine Grundvoraussetzung. Es sollte auch beachtet werden, daß bei doppelter Glasdicke zum Brechen die vierfache Kraft erforderlich ist (Bild 2).

Es wird oft über schlechtes Kantenbrechen geklagt, obwohl das eigentliche Problem beim Schneiden liegt. Vom Rand aus gesehen sollte die Breite des Zahnusters, welches das Schneidrad hinterläßt, etwa 10–15 % der Glasdicke betragen. Das Schneidrad darf keine schuppige oder kreidige Spur hinterlassen – sollte das der Fall sein, ist der Schneiddruck unter Umständen zu hoch oder der Winkel des Schneidrades zu spitz. Das häufigste

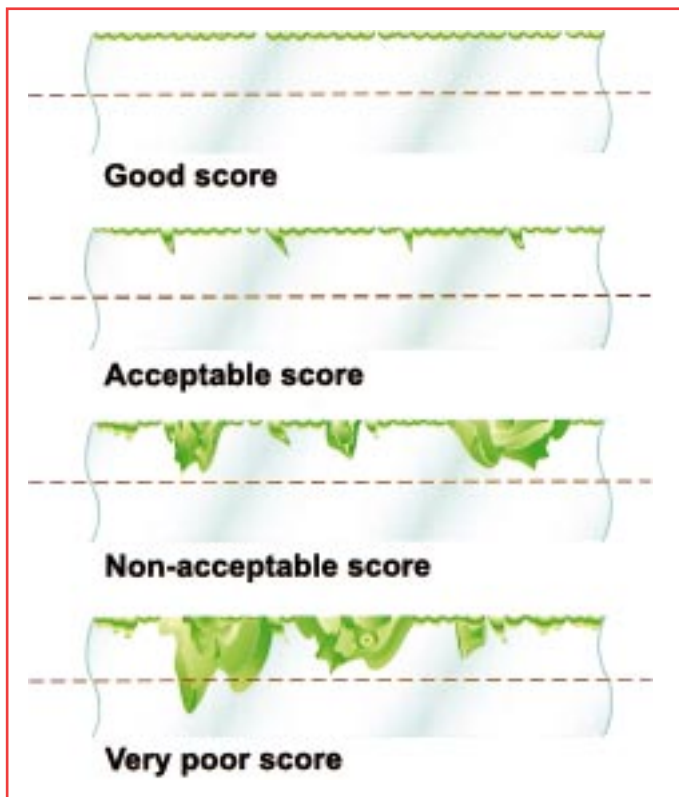


Bild 2: Unterschiedliche Schnittqualitäten: guter Schnitt, akzeptabler Schnitt, inakzeptabler Schnitt, sehr schlechter Schnitt (von oben nach unten)

Problem – das Glas bricht von selbst – entsteht durch Stoßwellen, die über die Glasoberfläche laufen und jeweils in den gegenüberliegenden Ecken am stärksten wirken. Manchmal verursacht die Kraft dieser Stoßwellen an den Ecken ein Abplatzen von Glas, besonders beim thermischen Brechen.

Die Glasdicke ist beim Brechen der entscheidende Faktor. Wenn der Schnitt akzeptabel ist, ist dünnes Glas für Windschutzscheiben (1,5–3,0 mm) verhältnismäßig leicht zu brechen, wobei die Methode keine Rolle spielt (thermisch/mechanisch/manuell). Aber mit zunehmender Glasdicke steigen die Anforderungen, und die Kompetenz der Maschinenlieferanten wird auf die Probe gestellt.

Beim thermischen Brechen wird wie folgt verfahren: Zuerst wird die Schnittlinie geöffnet, indem die Glasplatte auf derselben Seite erwärmt wird. Der Ritz öffnet sich, weil sich

das Glas unter der Wärmeeinwirkung ausdehnt. Der Ritz sollte sich auf einer möglichst langen Strecke öffnen, zumindest an allen Ecken. Dann wird die Wärmeeinwirkung auf das Glas (auf den überstehenden Rand oder auf die Befreiungsschnitte) erhöht, um die Ecken herauszubringen. Das Brechen sollte durch mechanische Brechstifte unterstützt werden. Die Wärme zum Öffnen des Einschnitts kann mittels eines Brenners mit niedriger Leistung oder durch Heißluft erzeugt werden, oder indem anfangs ein größerer Abstand zwischen Glas und Brennern gewählt wird. Der Rand sollte in dieser Phase noch nicht abfallen. Wenn der Rand in dieser Phase abfällt, platzt mit größter Wahrscheinlichkeit Glas ab. Das eigentliche Brechen des Glases erfolgt nach dem Öffnen der Einschnitte. Der Rand wird einem Thermoschock ausgesetzt, bis das Glas gebrochen ist. Wenn keine Störungen auftreten, sind die Kanten beim automatisierten thermischen Brechen von sehr guter Qualität. Das Verfahren läßt sich jedoch schwer in einem solchen Umfang automatisieren, daß Fertigkeiten und Erfahrung des Bedieners entbehrlich wären. (Das Verfahren ist normalerweise anfällig auf die

Betriebsbedingungen, z. B. Temperatur und Gasdruck.) Dünnes Glas (1,5 . . . 3,0 mm) ist leichter zu bearbeiten als dickeres (3,0 . . . 6,0 mm).

Beim mechanischen Brechen der Kanten wird wie folgt verfahren: Der Brechstift oder die Brechwalze bewegt sich die Schnittlinie entlang und führt den Brechvorgang aus (feste Stifte erfüllen denselben Zweck). Oftmals wird dafür eine speziell geformte Platte unter das Glas gelegt. Ein Roboter könnte programmiert werden, die Scheibe herauszubringen (indem er dieselben Bewegungen ausführt wie beim manuellen Verfahren). Die Qualität der Kanten ist beim automatisierten mechanischen Brechen gleichmäßiger, und es ist leichter als beim thermischen oder beim manuellen Brechen, von Stunde zu Stunde dasselbe Qualitätsniveau aufrechtzuerhalten. Befreiungsschnitte sind unbedingt erforderlich, und es ist besser, sie nach dem

Toivo Janhunen ist als Projektleiter in der Abteilung Forschung & Entwicklung bei der Firma Tamglass Engineering Ltd, Finnland, tätig und verfügt über zehnjährige Erfahrung in der Herstellung moderner Glasbearbeitungsanlagen.

Öffnen der Ecken auszuführen. Mechanisches Brechen mit einer Walze, die sich um die Außenlinie der Fahrzeugscheibe bewegt, ist nur bei einer Glasdicke von weniger als 3 mm möglich. Auch Druckstifte sind ohne Schablone bei dickem Glas problematisch. Tatsächlich gibt es nicht viele mechanische Brechverfahren für Glas in der Dicke von Seitenfenstern und Heckscheiben.

Unabhängig vom angewendeten Brechverfahren ist in jedem Fall ein ausreichend breiter Rand erforderlich. Empfohlen wird das Drei- bis Fünffache der Glasdicke (d. h. bei 3-mm-Glas 9–15 mm, bei 5-mm-Glas 15–25 mm). Wenn der überstehende Rand zu breit ist, ist das Kantenbrechen schwieriger. Deshalb muß bei

unterschiedlichen Randbreiten in der Regel gesondert programmiert werden.

Qualitätsschliff

Nach dem Brechen hat die Scheibe die richtige Form, aber die Kanten sind sehr scharf und brüchig. Durch Schleifen der Kanten wird das Glas stabiler. Eine für die meisten Zwecke ausreichende Festigkeit wird durch Besäumen erzielt (= Abschleifen der scharfen Kanten der Glasscheibe). Nach dem Besäumen bleibt in der

178 mm (7") verwendet. Für das Schleifen der Kanten von Windschutzscheiben sind die Parameter in der Regel C50 D91. Die übrigen Schleifparameter werden weiter unten angesprochen.

Das C-Kanten-Schleifverfahren mit der Diamantschleifscheibe wird üblicherweise bei vorgespanntem Glas eingesetzt. Besäumtes Glas kann vorgespannt werden, aber die zusätzlichen Kosten für das Schleifen von C-Kanten sind wegen der höheren Effektivität des Vorspannens und wegen

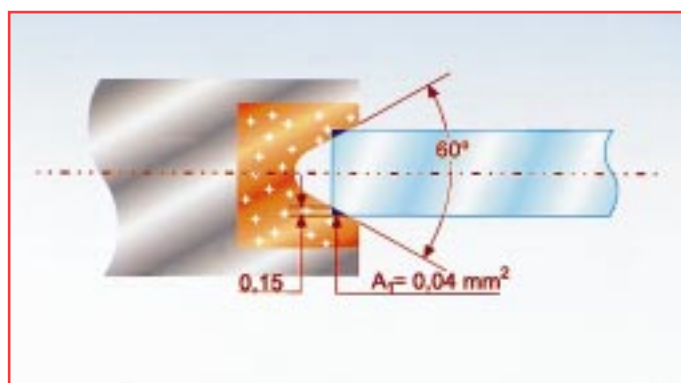


Bild 3: Schleifen, besäumen; abgeschliffener Bereich im Querschnitt

Mitte des Glasrandes ein blanker (glänzender) Streifen. Bei Seitenfenstern werden – hauptsächlich aus optischen Gründen – C-Kanten geschliffen. Beim Schleifen von C-Kanten dürfen an der Kante keine glänzenden oder blanken Stellen verbleiben. Die Anforderungen in bezug auf die Glätte der geschliffenen Fläche weichen ein wenig voneinander ab, aber als Grundregel ist für Schleifbänder eine Rauheit von P100 und für Diamantschleifscheiben eine Korngröße von D107 vorgeschrieben.

Bandschleifmaschinen werden heute nur noch selten eingesetzt. Die Qualität des Schliffs ist vom Winkel und der Spannung des Schleifbandes sowie der eingesetzten Kraft abhängig. Die Schleifrichtung ist senkrecht zur Glaskante, weshalb in dieser Richtung Furchen entstehen. Das ist der Hauptgrund für die geringe Festigkeit der mit dem Bandschleifer besäumten Kanten.

Die Diamantschleifscheibe hat den Bandschleifer weitgehend ersetzt. Die Schleifscheibe hat normalerweise einen Durchmesser von 125–250 mm; am häufigsten wird der Durchmesser

des optischen Vorteils vertretbar. Die Schleifscheibe hat im allgemeinen einen Durchmesser von 125–250 mm; am häufigsten wird der Durchmesser 178 mm verwendet. Typische Schleifscheibenparameter sind C100 D107.

Durch das Schleifen der C-Kanten erhält die Glasscheibe auch ihre endgültige Form. Deshalb sind die Anforderungen in bezug auf die exakte Ausrichtung der Scheibe und die genaue Steuerung der Bewegung des Schleifwerkzeugs sehr streng (anders als beim Besäumen, wo das Schleifwerkzeug mit Hilfe einer Feder gegen das Glas gedrückt wird).

Beim C-Kantenschleifen wird normalerweise fünf- bis achtmal so viel Material entfernt wie beim Besäumen. Das bedeutet weit höhere Anforderungen an das Kühlen und die Behandlung des Kühlwassers (Reinigen des Kühlwassers). Die schematischen Darstellungen beider Schleifverfahren zeigen den Unterschied in der Menge

des entfernten Materials (Bild 3 und 4).

Die Maschenweite bezeichnet die Feinheit der Diamantkristalle auf der Schleifscheibe. Sie wird als sogenannter D-Wert angegeben. Ein kleiner D-Wert bedeutet kleine Diamantkristalle. Bei Schleifscheiben zum Besäumen liegt dieser Wert normalerweise zwischen D64 und D91. Bei Schleifscheiben für C-Kanten liegt er bei D76–D107. (Zum Formschleifen können Schleifscheiben mit Werten bis zu D181 benutzt werden, aber die geschliffenen Kanten von Seitenfenstern sollten nicht gröber sein als D107.)

Die Konzentration (Maschenzahl) drückt den Anteil der Diamanten im Schleifmittel aus. Ein Wert von C100 bedeutet 4,40 Karat pro cm^3 (und C50 entsprechend $2,20 \text{ Kt/cm}^3$). Die Schleifscheiben haben im allgemeinen eine Konzentration von C40–C100. Eine andere Möglichkeit, die Konzentration und die C-Werte anzugeben, besteht darin, C100 mit 25 % des Volumens des Schleifmittels gleichzusetzen ($\text{C400} = 17,6 \text{ Kt/cm}^3 = 100 \% \text{ des Volumens}$).

Die Diamantkristalle sind in eine Metallegierung eingebettet (Bindung). Üblich sind Bronzelegierungen.

Bindung, Konzentration und Maschenweite stehen in Relation zueinander:

- Wenn die Maschenweite groß ist, sollte die Bindung hart sein. Die Kantenqualität ist schlecht, aber die Schleifscheiben halten länger.
- Wenn die Konzentration hoch ist (viele Diamanten), ist die Maschenweite normalerweise kleiner. Eine höhere Konzentration bedeutet, daß der einzelne Diamantkristall weniger Glas anritzt und die fertige Kante glatter wird.
- Wenn die Bindung hart ist, ist die Schleifscheibe verschleißfester. Wenn die Bindung zu hart ist, nimmt die Schleifkraft zu und die Temperatur steigt. Die Diamantkristalle verwandeln sich bei $700 \text{ }^\circ\text{C}$ in Graphit. Die Schleifscheiben müssen in Abständen „gereinigt“ werden, beispielsweise jeweils nach hundert Scheiben. Dieses „Reinigen“ bedeutet, daß neue Diamantkristalle an die Oberfläche gebracht werden, indem überschüssige Bindung und Glasreste von der

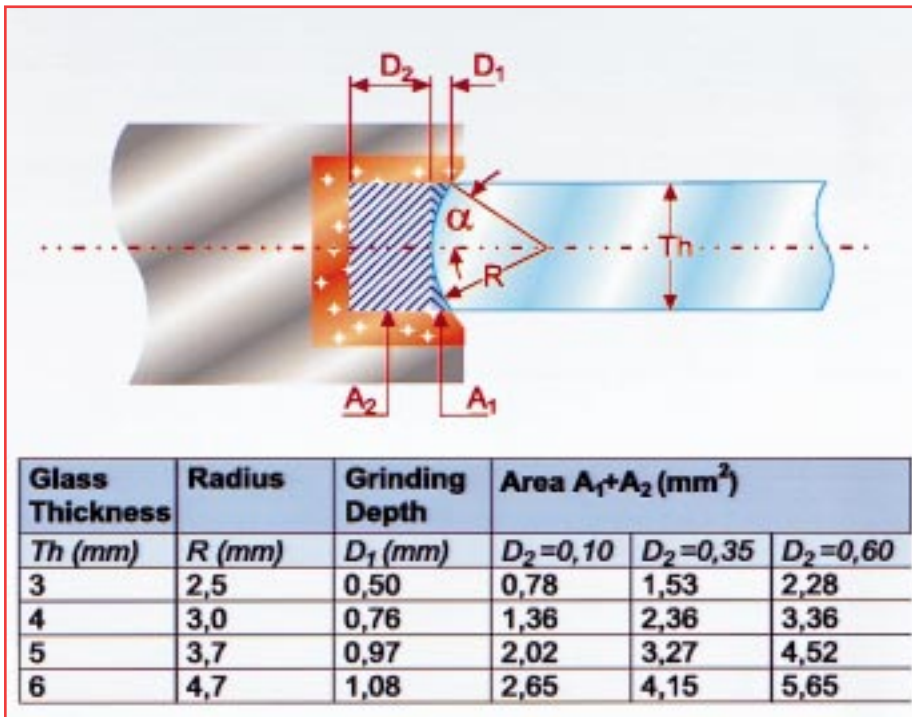


Bild 4: Schleifen: C-Kanten; abgeschliffener Bereich im Querschnitt

Glasdicke Th (mm) Radius R (mm) Schleiftiefe D_1 (mm) Bereich A_1+A_2 (mm²)
 $D_2 = 0,10$ $D_2 = 0,35$ $D_2 = 0,60$
 Fotos: Tamglass

Schleifscheibe entfernt werden. Das „Reinigen“ erfolgt, indem ein Keramikblock kurz (für wenige Sekunden) gegen die Schleifscheibe gedrückt wird.

Die typischen Schleifgeschwindigkeiten sind 8–20 m/min beim Besäumen mit der Diamantschleifscheibe und 5–15 m/min beim C-Kantenschleifen. Höhere Geschwindigkeiten stellen höhere Anforderungen an das Kühlsystem. Der normale Druck der Schleifscheibe auf das Glas hängt in erster Linie von der Korngröße der Diamantkristalle (D) ab. Wenn die Kristalle klein sind, muß der Druck höher sein (und es muß stärker gekühlt werden). Wenn die Konzentration (C) hoch ist, ist auch der normale Anpreßdruck höher.

Die normale Lebensdauer einer Schleifscheibe zum Besäumen beträgt im allgemeinen 20–100 km (Abrichten etwa alle 10–20 km). Wenn der Umfang einer Glasscheibe im Durch-

schnitt 4 Meter beträgt, bedeutet das ein Abrichten nach 2500–5000 Scheiben. Beim C-Kantenschleifen hat die Schleifscheibe normalerweise eine Lebensdauer von 10–40 km (Abrichten etwa alle 4–10 km). Der Anschaffungspreis für eine Schleifscheibe beträgt 400–1000 US-Dollar, und das Neuprofilieren kostet 300–400 US-Dollar. Die billigsten Schleifscheiben lassen sich jedoch nicht neu profilieren. In den meisten Fällen ist die billigste Schleifscheibe auf lange Sicht eine Schleifscheibe, die neu profiliert werden kann. Das Profilieren geschieht durch elektroerosive Bearbeitung. Die Schleifscheibenkosten belaufen sich auf 3–10 Cent je Glasscheibe.

Beim Schleifen entsteht Wärme, die absorbiert werden muß. (Bei 700 °C werden die Diamantkristalle zu Graphit umgewandelt.) Außerdem muß der Glasstaub entfernt werden. Das geschieht, indem Wasser oder ein Kühlmittel auf die Schleifscheibe und das Glas gesprüht wird. Wasser hat im Vergleich zu Kühlmitteln mehrere Nachteile und wird normalerweise nicht in reiner Form verwendet. Wasser hat eine hohe Oberflächenspannung und dringt nicht so gut zwi-

schen die Diamantkristalle wie Kühlmittel. Wasser fördert das Rosten. Der Glasstaub sinkt im Wasser nicht so schnell ab, und nach dem Absetzen ist der Glaskuchen sehr hart. Der pH-Wert des Wassers steigt durch den alkalischen Glasstaub sehr schnell, und das Wasser greift die Haut an. Die Vorteile von Wasser liegen darin, daß es billig und leichter zu entsorgen ist. (Auch Wasser muß vor der Entsorgung behandelt werden, aber einige Kühlmittel zählen zu den Gefahrstoffen.) Vorteile der Kühlmittel sind u. a., daß sie das Rosten eisenhaltiger Materialien verhindern, die Oberflächenspannung reduzieren, das Absinken der Glaspartikel beschleunigen, die Lebensdauer der Schleifscheibe verlängern und das Abwaschen des Glases erleichtern. Der Glasstaub muß aus der Kühlflüssigkeit abgeschieden werden. Dies kann auf chemische Weise geschehen. „Flockungsmittel“ lassen die Glaspartikel verklumpen, so daß sie sich leichter von der Flüssigkeit trennen lassen. Eine andere und vielleicht bessere Lösung ist es, zur Reinigung des Wassers Fliehkraftabscheider zu benutzen.

Zusammenfassung

Die Themen dieses Artikels sind für automatische Vorbearbeitungssysteme mit Schneiden, Brechen, Schleifen und Glastransport als Funktionen eines flexiblen Fertigungssystems von besonderer Wichtigkeit. Wenn alle diese Funktionen über Maschinenautomatisierung gesteuert werden, wird die Notwendigkeit höchster Qualität der Verfahren offenkundig. Spitzenqualität wird erzielt, indem Dutzende kleiner Details wie Schneiddrucksteuerung, die Konstruktion der Brechstifte und die Zusammensetzung der Bindungsmatrix der Schleifscheibe aufeinander abgestimmt werden.

Eine gute, angemessene Vorbearbeitung macht das Biegen, das Vorspannen und die Weiterverarbeitung der Glasscheiben sehr viel einfacher und erfolgreicher. Außerdem sinken die Fertigungskosten. □