

שקוף שזה שביר? על זכוכית בעיצוב המוצר

בצורתה הטהורה, זכוכית הינה חומר שקוף המיוצר על ידי קירור של חומר צמיגי. חומר זה מתאפיין בחוזק יחסי על אף שבירותו הגבוהה, ופני שטח אטומים לחלוטין המקנים לו עמידות בפני כימיקלים ושחיקה



אובסידיאן

by the Center For Social Research, Parkland College 2003 ©

מאד לייצר באמצעותו צורות מדויקות. עם זאת, במהלך העשורים האחרונים פותחו תהליכי ייצור שמצליחים "לכופף" גם אותה. זכוכית שטוחה מיוצרת בתהליך שנקרא זכוכית צפה (Floating Glass), בו זכוכית מותכת נשפכת במהירות על גבי מצע של מתכת מותכת, לרוב בדיל. כך מתאפשרת יצירת משטח אחיד, בעל פני שטח חלקים ומבריקים. אפשרויות הייצור של גופים תלת מימדיים מזכוכית כבר יותר מגוונות, והמוכרת ביותר לרובנו היא ככל הנראה ניפוח זכוכית, שיטה שתועדה כבר באלף השני לפני הספירה. בשיטה זו, זכוכית מותכת מנופחת באויר או לתוך תבנית על ידי נפח באמצעות מוט ברזל חלול. הנפח אוסף בקצה מוט הברזל זכוכית מתוך התנור, מגלגל אותה באויר לצורת כדור או שמייד מכניס אותה לתוך תבנית עץ או ברזל ונושף אויר במהירות ובחוזקה. תהליך ידני זה יכול להתאים לייצור מוצרים יחידניים או סדרות מוגבלות, כאשר לרוב הפריטים אינם זהים לחלוטין וקצב הייצור איטי.

כבר בתקופת האבן השתמשו בני האדם בזכוכית געשית, הנקראת אובסידיאן, כדי לייצר להבים וראשי חצים.

האובסידיאן, זכוכית שחורה ומבריקה שמקורות הכרייה שלה מוגבלים, שונה בתכליתה מהזכוכית השקופה והשבירה שאנו מכירים. אודות גילוייה של זו הדעות חלוקות, אך ככל הנראה היה זה לחופי צפון סוריה או מצריים העתיקה.

חול הים, חומר הגלם העקרי, מכיל סיליקאט שבשריפה בטמפרטורה גבוהה (בקרבת המדורות שנהגו להבעיר על החופים), נמס והופך לזכוכית. כך מתקבלת זכוכית המכילה כ-60% סיליקה, (סיליקון דו חמצני, SiO_2) שהינו חומר הגלם הבסיסי לתערובות זכוכית אחרות שקיימות כיום בשוק.

הזכוכית הנפוצה ביותר ושלרוב משמשת לייצור חלונות ובקבוקים, היא זכוכית סודה-ליים (Soda-Lime).

היא מורכבת מ-72% סיליקה ושבע תחמוצות נוספות. שינוי בהרכב התחמוצות בתערובת מאפשר קבלת זכוכיות עם תכונות מכאניות ואופטיות של הזכוכית, היא מסוגלת להוליך אור, לשבור אותו או להחזירו. התוצאות השונות מתקבלות על ידי חיתוך ושיוף הזכוכית לקבלת עדשות, פריזמות וכלים שונים. ניתן גם לייצר זכוכית בצבעים שונים על ידי הוספה של תחמוצות מתכתיות או לצבוע את פני השטח שלה (ויטראז', לדוגמה), והיום אף להדפיס על זכוכית בדיו מבוסס חומרים קראמיים. סוגי זכוכית נוספים הרווחים בתעשייה הינם: זכוכית אלקאלית הידועה ב-100% שקיפותה, בורוסיליקאט (Borosilicate), המוכרת בשמה המסחרי "פיירקס", בעלת חוזק מירבי ועמידות בטמפרטורות גבוהות, אלומיניום סיליקאט המשמש לייצור סיבי זכוכית וזכוכית אוקסידית המשמשת לייצור סיבים אופטיים. מבחינת עיבוד הזכוכית, על אף שכיחותה והיותה חומר גלם עתיק יומין, היא מציבה אתגרים לא פשוטים. על מנת להעניק לה את צורת המוצר המוגמר יש להתיכה בטמפרטורות גבוהות מאד ($1,050-1,200^\circ\text{C}$), לשלוט היטב במהירות ובטמפרטורת הקירור שלה (אחרת היא נשברת מיידית) ולהבין שמדובר בחומר שקשה



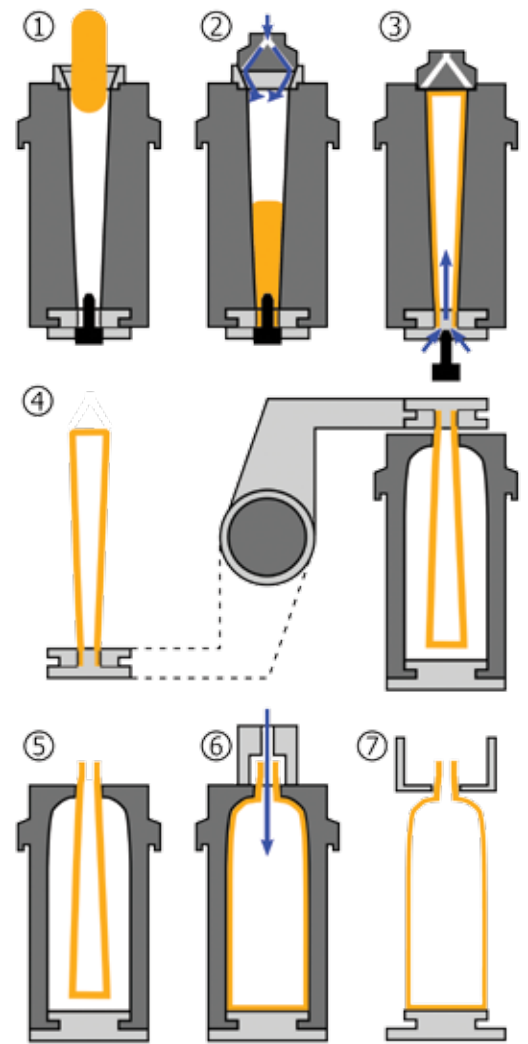
Meret Probst ©



Keenie BeanieBlog ©



PENGLAI INDUSTRIAL CORPORATION LIMITED CHINA



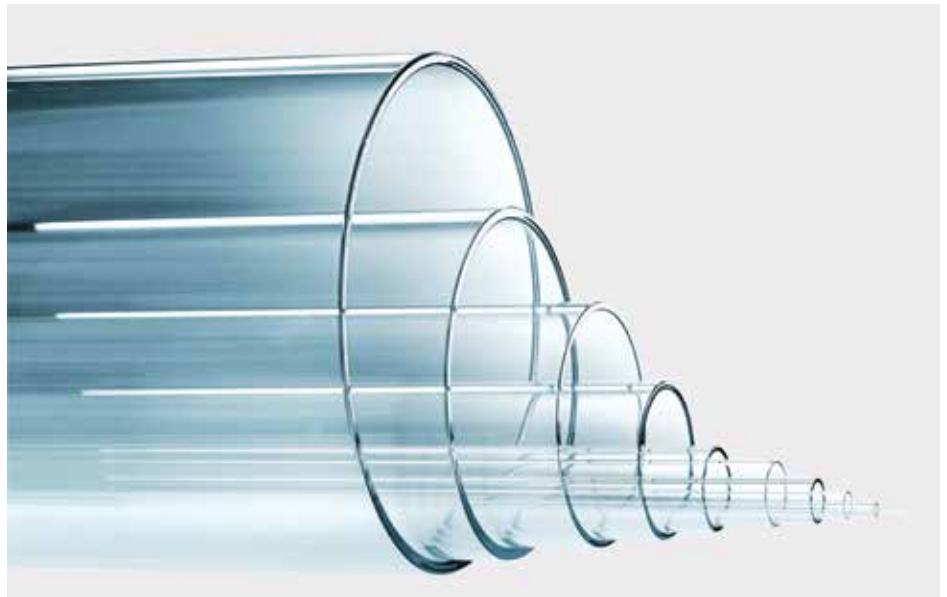
תהליך ניפוח כפול

המקבילה התעשייתית לתהליך זה מאפשרת ייצור סדרתי של כלי זכוכית נפחיים וחלולים בשתי טכנולוגיות רווחות: הניפוח הכפול או דחיסה וניפוח: הניפוח הכפול מתאים לייצור בקבוקים וכלי זכוכית בעלי צוואר, ושיטת הדחיסה והניפוח לייצור צנצנות וכלים נפחיים אחרים. בשתי השיטות משתמשים בתבניות פלדה ופס הייצור כולל כ-19 תחנות שבכל אחת מהן מתבצעת פעולה שונה. בסוף התהליך נקבל כלי זכוכית זהים אחד לשני אך אם נתבונן היטב, נבחין כי דפנותיהם אינן ישרות לחלוטין, שכן הזכוכית, כאמור, היא חומר עם רצונות משלו.

אחת החברות הידועות בזכות איכות ודיוק בעיבוד הזכוכית תוך כדי הקפדה על תהליכי ייצור ידניים היא חברת איטלה (littala) הפינית. כלי הזכוכית והאגרסלים שעיצב האדריכל אלואר אלטו (Alvar Aalto) בשנת 1937, המוכרים בשם Savoy Vases, מיוצרים בחברה עד היום ונמכרים ברחבי העולם. בשנת 2015 חברו המעצבים הצרפתיים, האחים בורולק (Bouroullec), לאיטלה וייצרו את סדרת האגרסלים Ruutu שזכתה בפרס העיצוב היוקרתי iF. אגרסלי הסדרה מאופיינים בתצורת מעין ומוצעים במגוון גדלים וצבעים, כאשר לטובת ייצור יחידה אחת נדרשו שבעה נפחים ו-24 שעות של עיבוד לתוך תבנית פלדת אל חלד וליטוש ידני.



כיצד, אם כך, ניתן לייצר כלי זכוכית מדויקים בעלי עובי דופן אחיד לכל אורכם? ויותר מזה, כיצד ניתן לייצר כלי זכוכית שאינם עגולים או סימטריים? כלים מדויקים, כמו כלי מעבדה, צינורות זכוכית ואפילו סיבים אופטיים מייצרים בשיחול (Extrusion). את הזכוכית המותכת לוחצים בדחיפה דרך דיוזה בעלת חתך הפרופיל שנרצה לקבל. אם המוצר הסופי הרצוי מכיל צינורות או גלילים בקטרים שונים, ניתן לחברם על ידי התכתם אחד לשני ועיבוד נוסף על ידי חריטה. אחת החברות המובילות בעולם לייצור פרופילי זכוכית וסיבים אופטיים היא שוט (SCHOTT) הגרמנית שמייצרת, בין השאר, את משטחי הזכוכית לכיריים חשמליות ואינדוקציות.



ואם נחזור לרגע לזכוכיות השטוחות, הרי שריבוי המסכים בחיינו בעשורים האחרונים גרם לתעשיית הזכוכית הצפה להתפתח לכוונים חדשים ומעניינים. אם בעבר העובי המינימאלי של לוח זכוכית עמד על כ-3 מ"מ, הרי שהיום יש זכוכיות דקות בעובי עשירות המילימטר ואף גמישות. Gorilla Glass היא פיתוחה של חברת קורנינג (Corning) האמריקנית. את הדור הראשון החלו לפתח בשנות ה-60 של המאה הקודמת עבור תעשיות הרכב, התעופה והתחבורה הציבורית במטרה להפחית ממשקל הרכב הכללי. זכוכיות אלה מהונדסות להיות קלות, דקות ומחוסמות וחומר הגלם ממנו הן עשויות הוא תערובת אלקאלי ואלומיניום-סיליאט (alkali-aluminosilicate). לעולם הטלפונים הניידים נכנסה החברה ברגע שחברת אפל בקשה מהם לייצר עבורה מסך לאייפון הראשון, והיום הדור הרביעי של הגורילה כבר מתהדר בעובי של 0.4 מ"מ. חברות נוספות בגרמניה ויפאן מייצרות אף הן זכוכיות דקות, אך המובילה בינתיים היא קורנינג. פיתוח נוסף של קורנינג לטובת מסכי מגע ומוצרי צריכה אלקטרוניים היא זכוכית גמישה, Willow Glass, שניתן לכופף אותה הלך וחזור בכיוון אחד מבלי שתשבר. ובל נשכח את תחום ההדפסה התלת מימדית שלא הזניחה את חומר הגלם השקוף, אבל על כך בהזדמנות אחרת.....