
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 11

ISSN 1899-3230

Rok V

Warszawa–Opole 2012

KRZYSZTOF CZARNACKI*

JAN WASYLAK**

Wpływ stłuczki szklanej z recyklingu na właściwości produkowanych opakowań szklanych w aspekcie nowych metod uszlachetniania powierzchni

Słowa kluczowe: recykling, stłuczka szklana, CSP (Ceramic, Stone, Porcelain), wytrzymałość mechaniczna.

Wykorzystanie przez Pol-Am-Pack S.A. Oddział Huta Szkła „ORZESZE” w Orzeszu nowej instalacji do odzysku i uzdatniania stłuczki szklanej pozwoliło na znaczący wzrost wykorzystania stłuczki pochodzącej z selektywnej zbiórki odpadów w produkcji opakowań szklanych.

Dzięki temu znacząco wzrosła ilość zagospodarowanych surowców wtórnych. Celem artykułu jest porównanie wytrzymałości mechanicznej opakowań szklanych przy różnych procentowych zawartościach stłuczki szklanej i przy wielu metodach ich uszlachetniania na gorąco i zimno. Rozważony będzie również aspekt technologiczny wpływu dodatku stłuczki szklanej na proces topienia szkła i redukcji surowców mineralnych stosowanych do sporządzania zestawu szklarskiego. Otrzymane wyniki wytrzymałościowe opakowań szklanych, produkowanych z różną zawartością procentową stłuczki w zestawie szklarskim, będą stanowić wytyczne do procesu produkcyjnego.

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach przemysł szklarski wykazuje znaczący wzrost poziomu recyklingu opakowań szklanych, co pozwala na zaoszczędzenie od 0,25 do 0,30% kosztów energii dla każdego procentu zestawu zastąpionego stłuczką szklaną. Opakowania szklane, tak jak żadne inne wyroby, nie pokazują tak mocnych powiązań pomiędzy wymaganiami jakościowymi a ekonomią ich produkcji [1–3]. Z jednej strony opakowania szklane muszą mieć możliwie najlepszą jakość i nie powinny zawierać żadnych defektów. Z drugiej – ze względu na

* Mgr inż., Pol-Am-Pack S.A. Oddział Huta Szkła „ORZESZE” w Orzeszu.

** Prof. dr hab. inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

większą masę jednostkowego opakowania tracą udziały w rynku w porównaniu do opakowań metalowych i do tych z tworzyw sztucznych.

Termin wytrzymałość opakowań szklanych można zdefiniować jako poszczególne naprężenia, na które opakowania szklane są narażone. Maksimum naprężenia jest determinowane przez jakość powierzchni opakowania szklanego. Naprężenie takie może pojawić się na całej powierzchni opakowania szklanego i nie musi zależeć od rozkładu szkła czy obciążeń wywołanych ciśnieniem wewnętrznym, naciskiem osiowym, uderzeniami czy szokiem termicznym. Dlatego bardzo ważna jest optymalizacja wszystkich etapów procesu przygotowania i produkcji oraz transportu opakowań szklanych.

2. Zanieczyszczenia stłuczki szklanej

W procesie przygotowania stłuczki szklanej pochodzącej z rynku, będącej jednym z najważniejszych surowców, ogromną rolę odgrywają zanieczyszczenia wpływające na wytrzymałość mechaniczną opakowań szklanych [4]. Największym problemem w Europie, jeżeli chodzi o zanieczyszczenia, są wtrącenia ceramiczne tzw. CSP (Ceramic, Stone, Porcelain) lub inaczej KSP (Keramik, Stein, Porzellan) oraz zróżnicowania stopnia utlenienia stłuczki.

Do połowy lat osiemdziesiątych XX w. zanieczyszczenia ceramiczne były usuwane ręcznie i ich ilość mieściła się w zakresie 400–500 mg na jeden kilogram stłuczki. Wraz z rozwojem automatyzacji i wprowadzeniem urządzeń optycznych ilość ta zmniejszyła się do ok. 25–50 mg na jeden kilogram szkła.

Zanieczyszczeniami powodującymi obniżenie wytrzymałości są również metale, które mogą dostać się do szkła w postaci kapsli, puszek bądź obrączek [4]. Możemy zaliczyć do nich ołów, który w wannach szklarskich przeznaczonych do produkcji opakowań szklanych powoduje uszkodzenie dna wanny. Do końca lat osiemdziesiątych jego głównym źródłem były zamknięcia butelek do wina.

Problematycznym metalem jest metaliczny glin pochodzący z puszek bądź zakrętek. Powoduje on powstanie wtrąceń krzemowych poprzez reakcję glinu z zionami krzemu. Innym metalem, który pojawia się jako wtrącenie jest żelazo, które jest mniej niebezpieczne od poprzedników, jednak może ono spowodować wzrost korozyjności materiałów ceramicznych oraz zmianę koloru produkowanych opakowań i osłabienie ich wytrzymałości mechanicznej poprzez wtrącenia. Mogą występować również wtrącenia innych metali, takich jak miedź w postaci siarczanów miedzi występujących w opakowaniach szklanych.

Bardzo ważnym problemem zaobserwowanym w stłuczce zewnętrznej była obecność zmieniającej się w czasie frakcji organicznej [4]. W połowie lat osiemdziesiątych zaczęto obserwować różnice opakowań szklanych produkowanych ze „świeżo” przygotowanej i „starej” stłuczki. Przez pojęcie stara stłuczka ro-

zumiano stłuczkę szklaną magazynowaną przez okres od kilku tygodni do kilku miesięcy po procesie oczyszczenia. Problem ten w sposób znakomity pokazują zdjęcia opakowań szklanych wyprodukowanych w 100% ze stłuczki szklanej „świeżej” i „starej”. Topienie świeżej stłuczki zielonej zmienia kolor opakowania na oliwkowozielony. Odcień oliwkowy jest spowodowany obecnością jonów żelaza na +3 stopniu utlenienia, występujących w szkłe w postaci jonów, kompleksów sulfatowych, czyli oznacza to, że szkło jest bardzo zredukowane, od kiedy sulfaty są formowane w zależności od zawartości tlenu w roztopionym wsadzie szklarskim. Topienie stłuczki zielonej „starej” dawało normalny zielony kolor, czyli rezultatem było mniej zredukowane szkło lub nawet lekko utleniony produkt. Taka sama sytuacja została zaobserwowana w odniesieniu do szkła bezbarwnego.

Obserwacje te pozwoliły na przeprowadzenie wielu doświadczeń i badań zmniejszających redukujący wpływ „świeżej” stłuczki szklanej. Możemy zaliczyć do nich opcjonalnie: mycie, podgrzewanie lub wcześniej wspomniane magazynowanie w celu przeprowadzenia procesu naturalnej fermentacji.

W ostatnich czasach bardzo dużą rolę jako zanieczyszczenie odgrywa szkło ceramika, która dostaje się często do stłuczki opakowaniowej z pojemników używanych w „mikrofalówkach”, osłonach ceramicznych itd. [4]. Szkło ceramika ze względu na swoją różnorodność i wysoką zawartość glinu w niektórych przypadkach posiada bardzo wolną szybkość topienia.

Do zanieczyszczeń możemy zaliczyć również stłuczkę typu „float”. Z tą jednak różnicą, że wykorzystanie stłuczki szklanej „float” w produkcji szkła oranżowego lub zielonego jest możliwe do poziomu ok. 30–40% w zestawie szklarskim. W przypadku szkła oranżowego z zawartością od 0,2 do 0,3 części masowych SO_3 może dostarczyć siarki oraz części żelaza niezbędnej dla wytworzenia chromoforów oranżowych. Proces technologiczny topienia szkła z zanieczyszczonej stłuczki powoduje dużo poważnych problemów. Jednym z tych problemów opisywanym w pracy jest tworzenie się piany z wczesnego rozkładu sulfatów. Następnie przyczyną tego może być zablokowanie transferu ciepła z płomienia poprzez pianę do masy szklanej i przedostawanie się do strefy klarowania nieprzetopionych fragmentów zestawu szklarskiego. Zmieni się również kolor szkła i transfer ciepła w pobliżu IR. Temperatury masy szklanej przy dnie wanny szklarskiej zmniejszą się poprzez zmniejszenie transferu ciepła poprzez promieniowanie. Kolejnym problemem jest pojawienie się większej ilości wtrąceń w szkłe, które mocno zmniejszają wytrzymałość opakowań szklanych. Wzrasta więc ilość emisji do atmosfery związków siarki, chlorków, fluorków. W czasie takiego procesu tworzy się większa ilość pyłów z powodu redukującej zdolności stłuczki, która powoduje wzrost odparowywania składników sody i ołowiu. Finalnie kolor uzyskanego szkła będzie mieścił się poza granicą tolerancji usta-

loną w specyfikacjach i zwiększy się znacząco ilość pęcherzyków i pęcherzy w masie szklanej.

3. Uzdatnianie stłuczki szklanej

Can Pack S.A. poprzez swoją zależną spółkę Pol-Am-Pack S.A. Oddział Huta Szkła „ORZESZE” w Orzeszu w 2006 r. zakupił i zainstalował w swoim zakładzie instalację do recyklingu stłuczki szklanej pozyskiwanej z rynku. Technologiczna linia została zakupiona w austriackiej firmie „BINDER” [5]. Dzięki tej inwestycji Grupa Can Pack zwiększyła kilkakrotnie produkcję oczyszczonego granulatu stłuczki szklanej pozyskanej z rynku krajowego i zagranicznego.

Proces technologiczny uzdatniania rozpoczyna się poprzez załadowanie stłuczki szklanej do kosza zasypowego. Pozwala to na uzyskanie stłuczki w 3 frakcjach: 0–10 mm, 10–35 mm i powyżej 35 mm. Jest to bardzo ważny aspekt przygotowania stłuczki szklanej. Badania dotyczące wielkości stłuczki jednoznacznie określiły, że optymalnym jest rozmiar od 2 do 5 cm.

Fracja pierwsza (0–10 mm), materiał najczęściej nienadający się do powtórnego użycia jako surowiec do zestawu szklarskiego, wyprowadzany jest poprzez przenośniki taśmowe na zewnątrz instalacji do boksu stalowego. Zbyt mały rozmiar stłuczki może spowodować przedostanie się większej ilości zanieczyszczeń. Stłuczka o tej wielkości ziarna posiada niewidoczne zanieczyszczenia, takie jak tłuszcz, olej, cukry, ale także włókna papierowe. Cechą charakterystyczną tej frakcji jest brak lub bardzo ograniczony proces fermentacji ze względu na brak dostępu tlenu pomiędzy cząsteczkami szkła i zanieczyszczeń, dodatkowo zawiera ona frakcję CSP. To spowodowało, że niektóre huty zaczęły mieć stłuczkę szklaną na proszek w celu wyeliminowania problemu porcelany lub szkła ceramiki w produkowanych opakowaniach szklanych. W praktyce jednak okazało się to nie zawsze opłacalne. Po pierwsze, niestety nie udawało się zawsze osiągnąć granulatu mniejszego od 1 mm, dlatego występowały cały czas wtrącenia o wymiarach powyżej 1–2 mm. Dodatkowo większym problemem okazało się pienie szkła w wannie szklarskiej wywołane dwoma przyczynami. Pierwszą przyczyną była bardzo duża zawartość frakcji organicznych. Drugą była zawartość w miążkim materiale siarczków, które podczas procesu topienia produkowały dwutlenek siarki. Reakcje siarczkowo-siarczanowe powodowały powstanie piany na powierzchni topionego szkła. Dlatego instalacja, którą posiada Pol-Am-Pack S.A. Oddział Huta Szkła „ORZESZE” w Orzeszu wykorzystuje w swoich wannach szklarskich tylko frakcję drugą (10–35 mm).

Fracja druga (10–35 mm) zsypywana automatycznie na przenośniki taśmowe różnych typów, z których usuwane są zanieczyszczenia ferromagnetyczne oraz frakcje lekkie, takie jak papier, aluminiowe obrączki z butelek, kawałki drewna, plastiku itd. Usunięte zanieczyszczenia są odprowadzane do odpowiednich bok-

sów na zewnątrz instalacji uzdatniania stłuczki. Tak oczyszczona i sprawdzona stłuczka kierowana jest do separatorów optycznych, które eliminują zanieczyszczenia nieprzezroczyste, takie jak kamienie, kawałki ceramiki, kapsle aluminiowe, plastikowe, porcelana oraz wydzielają z granulatu zaprogramowany kolor. W przypadku uzdatniania stłuczki bezbarwnej na separatorach będzie się wydzielać granulaty kolorowe: zielony, brązowy itp., zaś w uzdatnianiu stłuczki szklanej ze szkła barwionego w masie będzie się wydzielać granulaty brązowy lub zielony. Tak oczyszczony i wydzielony granulaty po przejściu przez separatory zostaje podany przenośnikami taśmowymi do odpowiednich boksów na zewnątrz hali, a w dalszej kolejności transportowany do silosów przywannowych stłuczki, w których magazynuje się granulaty szklane, dodawany do zestawu szklarskiego. Zmieszany granulaty zawierający ok. 45% szkła bezbarwnego w odniesieniu do reszty szkła zielonego lub oranżowego zawiera dzięki temu frakcję utleniającą. Czyli dla wanny szklarskiej o określonym wyciągu dobowym, maksymalna ilość stłuczki szklanej do produkcji szkła zielonego może być znacznie wyższa dzięki wykorzystaniu granulatu kolorowego lub domieszki stłuczki typu „float”, niż w przypadku wzięcia do produkcji czystej stłuczki zielonej (składniki te wprowadzają element utleniający).

Frakcja trzecia o wielkości ziarna powyżej 35 mm, uzyskana na przesiewaczach wibracyjnych, jest podawana na przenośniki taśmowe, gdzie usuwane są zanieczyszczenia metalami ferromagnetycznymi oraz frakcje lekkie. Następnie tak oczyszczona stłuczka skierowana jest do kruszarki, skąd w postaci frakcji szklanej 0–35 mm trafia przenośnikami taśmowymi na zewnątrz hali i od tego momentu następuje powtórzenie całego procesu uzdatniania.

Zwiększenie ilości stłuczki szklanej w zestawie szklarskim pozwala na zaoszczędzenie 1/3 energii i na zmniejszenie emisji do atmosfery tlenków siarki i azotu znajdujących się w naturalnych komponentach. Można założyć, że 1 tona stłuczki zastępuje 1,2 tony surowców naturalnych, zmniejsza ilość odpadów na składowiskach, wydłuża czas eksploatacji składowiska, zmniejsza koszty utrzymania i rekultywacji środowiska. Dodatkowo stłuczka szklana może być przerabiana nieograniczoną liczbę razy.

4. Zwiększanie wytrzymałości mechanicznej opakowań szklanych

Oprócz wielu badań i rozwoju, jaki nastąpił w obszarze przygotowania zestawu szklarskiego i topienia masy szklanej, miał miejsce również postęp w obrębie formowania i uszlachetniania wyrobów szklanych.

Uszlachetnianie na gorąco (Hot End Coating – HEC) polega na poddawaniu opakowań szklanych w temperaturze 450–600°C działaniu związków chemicznych (pary czterochlorku cyny lub trichlorku monobutylocyny), które po zetknięciu

z gorącą powierzchnią szkła ulegają rozkładowi termicznemu, tworząc na powierzchni butelki powłokę tlenkową cyny. Ponadto następuje dyfuzja tlenków metalu do warstw powierzchniowych szkła [6]. W wyniku tej dyfuzji tworzą się wiązania strukturalne z szkłem i zmieniają się właściwości szkła, powodując wzrost jego twardości. Dodatkowo wzrasta estetyka wyrobów szklanych przez nadanie połysku uszlachetnionej powierzchni.

Uszlachetnienie na zimno (Cold End Coating – CEC) polega na nanoszeniu na wyroby szklane w temperaturze ok. 100°C związków organicznych (emulsji LDPE lub pary kwasu oleinowego). Powłoka ta przeciwdziała zarysowaniom opakowań szklanych, które mogą wystąpić podczas ich napełniania. Równoczesne zastosowanie uszlachetniaczy na gorąco i na zimno pozwoliło zwiększyć wytrzymałość mechaniczną opakowań szklanych oraz dało możliwość zredukowania ich masy.

5. Badania własne

Typowymi uszlachetniaczami stosowanymi na gorąco są związki cyny. Alternatywą dla tych związków mogą być stosowane w hucie jako zamiennik nanocząstki związków glinu. Przedmiotem badań przeprowadzanych w Pol-Am-Pack S.A. Oddział Huta Szkła „ORZESZE” w Orzeszu jest optymalizacja procesu uszlachetniania na gorąco za pomocą nanocząstek związków glinu. Do tej pory badano butelki szklane do piwa o pojemności 330–660 ml w trakcie 24-godzinnych testów produkcyjnych. Próby przeprowadzano na butelkach wyprodukowanych na automatacie 6-sekcyjnym DG (DG Double Gob).

Do przeprowadzenia testów produkcyjnych dobierano odpowiednie parametry technologiczne formowania butelek szklanych ciśnieniowych z użyciem różnej zawartości sfluczki. Dodatkowo dobierano również odpowiednie parametry pracy urządzeń uszlachetniających na gorąco, zimno i parametry pracy urządzeń odprężających. Nowy typ uszlachetniacza nanoszono na powierzchnię uformowanych butelek w specjalnie do tego celu skonstruowanych prototypowych urządzeniach – komorach. W trakcie trwania badań przemysłowych na przełomie roku 2010 i 2011 zmodyfikowano konstrukcję prototypowych urządzeń, co pozwoliło na osiągnięcie jeszcze lepszych rezultatów przemysłowych. Wyniki badań zostały przedstawione w tabelach 1–3. Przeprowadzone modyfikacje urządzeń – komór uszlachetniających na gorąco pozwoliły na zwiększenie wytrzymałości mechanicznej opakowań szklanych. Uszlachetnione nowym typem uszlachetniacza butelki szklane odprężano następnie w odprężarkach tunelowych i uszlachetniano na zimno. Podczas testów produkcyjnych sprawdzano różne typy uszlachetniaczy na zimno. Oprócz testów przemysłowych, przeprowadzano równocześnie badania laboratoryjne nanoszenia nowego typu powłoki.

6. Wyniki badań

Uszlachetnione opakowania szklane na gorąco nowym typem uszlachetniacza oraz na zimno poddawano próbom laboratoryjnym w laboratorium huty szkła. Sprawdzano parametry butelek ciśnieniowych, takie jak: udarność, nacisk osiowy, chwilowe ciśnienie wewnętrzne. Badano również mikrotwardość nowej powłoki oraz przeprowadzono badania mikroskopowe potwierdzające ciągłość powłoki na powierzchni opakowań szklanych.

T a b e l a 1

Wartości wytrzymałości na udarność butelki 100 ml wyprodukowanej na maszynie 6-sekcyjnej, 2-kropłowej AIS, czas przebywania w temperaturze 600°C – 15 min

Lp.	Szkło [cm/s]		Szkło + SnO ₂ + + wosk PE [cm/s]		Szkło + Al ₂ O ₃ + + wosk PE [cm/s]		Przyrost szkło + + SnO ₂ /Al ₂ O ₃ [%]	
	góra [cm/s]	dół [cm/s]	góra [cm/s]	dół [cm/s]	góra [cm/s]	dół [cm/s]	góra [cm/s]	dół [cm/s]
1	130	130	210	140	220	160	5	14
2	130	150	190	160	210	170	11	6
3	150	150	240	200	250	210	4	5
4	130	100	240	170	250	180	4	6
5	150	130	200	150	230	160	15	7
6	75	130	150	130	170	150	13	15
7	130	130	240	160	250	190	4	19
8	130	100	190	140	210	150	11	7
9	100	180	190	130	200	150	5	15
10	100	180	170	160	200	170	18	6
11	100	100	200	170	240	180	20	6
12	130	150	210	180	220	190	5	6
X	121,3	135,8	202,5	157,5	220,8	171,7	9,5	9,4
S _x	22,6	27,8	28,0	20,9	24,7	19,0	5,8	5,0

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

T a b e l a 2

Wartości nacisku osiowego dla butelki 100 ml wyprodukowanej na maszynie 6-sekcyjnej, 2-kropłowej AIS, czas przebywania w temperaturze 600°C – 15 min

Lp.	Szkło [kG]	Szkło + SnO ₂ + + wosk PE [kG]	Szkło + Al ₂ O ₃ + + wosk PE [kG]	Przyrost szkło + + SnO ₂ /Al ₂ O ₃ [%]
1	700	1 600	1 750	9
2	640	1 600	1 700	6
3	670	1 700	1 750	3
4	740	1 700	1 750	3
5	580	945	1 000	6
6	955	1 465	1 500	2

cd. tab. 2

Lp.	Szkło [kG]	Szkło + SnO ₂ + + wosk PE [kG]	Szkło + Al ₂ O ₃ + + wosk PE [kG]	Przyrost szkło + + SnO ₂ /Al ₂ O ₃ [%]
7	790	1 700	1 750	3
8	870	1 650	1 750	6
9	715	1 650	1 750	6
10	820	1 695	1 750	3
11	840	1 700	1 750	3
12	775	1 025	1 165	14
X	757,9	1 535,8	1 613,8	5,4
S _x	105,4	266,7	260,6	3,4

Źródło: Jak w tab. 1.

W trakcie produkcji testowej w określonych odstępach czasu były pobierane określone ilości próbek opakowań szklanych z każdej sekcji automatu formującego. Następnie butelki były poddawane testom udarowościowym. Do badań używano młotków udarowych firmy American Glass Research. Badania udarowości były wykonywane zgodnie z normą DIN 52295 (Prüfung von Glas-Pendelschlagversuch an Behältnissen – Attribut- und Variablenprüfung). Średnie wartości tych badań pokazane są w tabeli 1 [7].

Tabela 3

Wartości ciśnienia wewnętrznego minutowego dla butelki 500 ml wyprodukowanej na maszynie 6-sekcyjnej, 2-kropłowej AIS, czas przebywania w temperaturze 600°C – 15 min

Lp.	Szkło [BAR]	Szkło + SnO ₂ + + wosk PE [BAR]	Szkło + Al ₂ O ₃ + + wosk PE [BAR]	Przyrost szkło + + SnO ₂ /Al ₂ O ₃ [%]
1	1	5,2	8	58
2	1,2	10,0	12	20
3	2,1	7,7	9	17
4	1,1	7,0	8	14
5	1,1	7,2	8	11
6	0,5	6,0	8	33
7	0,4	10,7	12	12
8	0,8	9,3	12	29
9	1,0	5,6	8	43
10	0,8	8,2	9	10
11	1,9	6,3	7	11
12	0,7	7,1	12	69
X	1,1	7,5	9,4	27,3
S _x	0,5	1,7	2,0	19,9

Źródło: Jak w tab. 1.

Tabela 4

Wzrost mikrotwardości butelki 100 ml wyprodukowanej na maszynie 6-sekcyjnej, 2-kropłowej AIS, czas przebywania w temperaturze 600°C – 15 min, próbkę pobrano z korpusu przy dnie butelki (próbka C)

Korpus przy dnie	Odcisk szkło	Odcisk szkło + Al ₂ O ₃	Obciążenie piramidki [G]	Przekątna d szkło [μm]	Przekątna d szkło + Al ₂ O ₃ [μm]	Mikrotwardość szkło [GPa]	Mikrotwardość szkło + Al ₂ O ₃ [GPa]	Przyrost mikrotwardości szkło/szkło + Al ₂ O ₃ [%]
C	41	36	40	12,71	11,16	4,59	5,95	13,64
C	42	39	40	13,02	12,09	4,37	5,07	6,99
C	42	37	40	13,02	11,47	4,37	5,64	12,62
C	39	38	40	12,09	11,78	5,07	5,34	2,71
C	40	39	40	12,40	12,09	4,82	5,07	2,51
C	41	39	40	12,71	12,09	4,59	5,07	4,83
C	42	41	40	13,02	12,71	4,37	4,59	2,16
C	38	37	40	11,78	11,47	5,34	5,64	2,93
C	39	37	40	12,09	11,47	5,07	5,64	5,63
C	42	37	40	13,02	11,47	4,37	5,64	12,62
X	41	38	40	12,59	11,78	4,68	5,34	6,63
S _x	1,4	1,4	–	0,40	0,40	0,30	0,40	4,40

Źródło: Jak w tab. 1.

Wraz z wykonywanymi badaniami udarnościowymi zrobiono również badania sprawdzające nacisk osiowy i ciśnienie wewnętrzne. Do wykonania badań sprawdzających nacisk osiowy wykorzystano urządzenie Vertical Load Tester, a do pomiaru ciśnienia wewnętrznego użyto urządzenia Ramp Pressure Tester II. Badania przeprowadzono w oparciu o normy DIN EN ISO 8113 (Behältnisse aus Glas-Axialdruckfestigkeit-Prüfverfahren) [8] oraz DIN EN ISO 7458 (Behältnisse aus Glas-Innendruckfestigkeit Prüfverfahren) [9]. Otrzymane średnie wyniki badań nacisku osiowego przedstawia tabela 2, natomiast średnie wyniki badanego ciśnienia wewnętrznego butelek szklanych obrazuje tabela 3.

Uzyskane próbki podczas testów produkcyjnych były badane w Katedrze Technologii Szkła i Powłok Amorficznych. Sprawdzano mikrotwardość nano-szonej powłoki, porównując ją do mikrotwardości zewnętrznej warstwy nieuszlachetnionego opakowania szklanego. Badania mikrotwardości wykonano metodą Vickersa, pomiary przeprowadzono przy pomocy mikrotwardościomierza PMT-3 zgodnie z normą PN-70/B-13150. Otrzymane średnie wartości przedstawia tabela 4 [10].

7. Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki badań wytrzymałościowych jednoznacznie wykazują, że metoda obróbki opakowań szklanych za pomocą nowego typu uszlachetnicza, zawierającego w swoim składzie związki glinu, zwiększa wytrzymałość mechaniczną opakowań szklanych, niezależnie od ilości wprowadzonej stłuczki szklanej. Uzyskane wyniki wytrzymałościowe są porównywalne, a w większości przypadków w znaczący sposób przekraczają wartości wyników wytrzymałościowych butelek uszlachetnianych związkami cyny. Nowa metoda uszlachetniania na gorąco nanocząstkami związków glinu może stać się alternatywą dla standardowego uszlachetniania. Wprowadzone modyfikacje technologiczne w prototypach urządzeń uszlachetniających pozwoliły na jeszcze większe zwiększenie wytrzymałości mechanicznej produkowanych butelek. Metoda ta zastosowana wraz z uszlachetnieniem na zimno powinna dać możliwość kolejnej redukcji wagi opakowań szklanych przy utrzymaniu, a nawet zwiększeniu parametrów wytrzymałościowych. Metoda uszlachetniania nanocząstkami związków glinu będzie dalej rozwijana w Pol-Am-Pack S.A. Oddział Huta Szkła „ORZESZE” w Orzeszu*.

Literatura

- [1] Müller-Simon H., *Strength of Container Glass, ICG Advanced Course 2006 Strength of Glass Basic and Test Procedures*, Verlag der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft Offenbach/Main 2006.
- [2] Varner J., *Strength and Fracture Mechanics of Glass, ICG Advance Course Strength of Glass Basic and Test Procedures*, Verlag der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft Offenbach/Main 2006.
- [3] Hand R.J., *Stresses and Stress Measurements in Glass, ICG Advance Course Strength of Glass Basic and Test Procedures*, Verlag der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft Offenbach/Main 2006.
- [4] Engelbert van Santen, Recycling in container glass production: present problems in European glass industry, TNO Glass Group, The Netherlands, online.engineering.illinois.edu (12.03.2012).
- [5] <http://www.ecoserwis.pl/> (12.03.2012).
- [6] Tooley F.V., *The Handbook of Glass manufacturing*, 3 ed., Books for the Glass Industry Division Ashlee Publishing Co., Inc., New York 1984.
- [7] DIN 52295:2010-03 – Prüfung von Glas-Pendelschlagversuch an Behältnissen – Attribut- und Variablenprüfung (2010-03).

* Praca powstała dzięki współpracy firmy Pol-Am-Pack S.A. Oddział Huta Szkła „ORZESZE” w Orzeszu z Katedrą Technologii Szkła i Powłok Amorficznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W artykule wykorzystano materiały firmy TNO Glass Group.

- [8] DIN EN ISO 8113:2004-05 – Behältnisse aus Glas-Axialdruckfestigkeit-Prüfverfahren (ISO 8113:2004); Deutsche Fassung EN ISO 8113:2004.
- [9] DIN EN ISO 7458:2004-05 – Behältnisse aus Glas-Innendruckfestigkeit Prüfverfahren (ISO 7458:2004); Deutsche Fassung EN ISO 7458:2004.
- [10] PN-70/B-13150 – Szkło. Metody badań. Oznaczanie mikrotwardości szkła, (1970-03-27).

KRZYSZTOF CZARNACKI
JAN WASYLAK

THE INFLUENCE OF RECYCLED CULLET ON THE MECHANICAL
RESISTANCE OF GLASS PACKAGING ACCORDING TO NEW
SURFACE COATING METHODS

Keywords: recycling, glass cullet, CSP (Ceramic, Stone, Porcelain), mechanical resistance.

Using a new recycling installation by Pol-Am-Pack S.A. The Glass Plant „ORZESZE” in Orzesze allows the possibility of increasing the amount of the consumption of glass cullet from selective waste sources in the production of glass containers.

This step increases the possibilities of reusable waste management. The aim of the publication is a comparison of the mechanical resistance of glass containers at different percentage values of recycled culled material and different types of hot end and cold end coating. The technological aspect of the influence of recycled cullet on the melting process and the reduction of raw mineral materials in the glass batch preparation will also be considered. The achieved mechanical resistance results with a different cullet percentage content in the glass batch will be the base for the production process.