فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۴، زمستان ۱۳۹۵

تاثیر ضایعات چینی استخوانی بر روی رفتار زینتر بدنه چینی سخت

علی آراسته نوده

گروه فنی و مهندسی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان

Aliarastehnodeh@iauq.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۰ اسفند ۱۳۹۴

پذیرش: ۲۰ خرداد ۱۳۹۶

کلید واژه:

چینی سخت، چینی استخوانی، رفتار زینتر، ضایعات

چکیده:

یکی از راه‌های جلوگیری از هدر رفت مواد اولیه و نیز حفظ محیط زیست استفاده از ضایعات چینی در ترکیب بدنه می‌باشد. در این مقاله تاثیر ضایعات چینی استخوانی بر روی رفتار زینتر بدنه چینی سخت بررسی شده است. بدین منظور بدنه‌های چینی سخت با ۰، ۵/۶، ۱۰/۷، ۱۵/۲ درصد وزنی ضایعات چینی استخوانی تهیه شده و در جارمیل مخلوط و در دماهای ۱۲۵۰°C و ۱۳۴۰°C پخت شده و خواصی نظیر استحکام پخت، دانسیته کلی، ضریب انبساط آنها بررسی شده و ساختار آنها توسط پراش اشعه (XRD) و میکروسکوپ الکترونی (SEM) مشاهده شد. افزایش ضایعات چینی استخوانی باعث افزایش مولایت و کاهش کوارتز در بدنه‌های پخت شده می‌گردد. همچنین این افزایش باعث افزایش فاز آنورتیت در بدنه‌هایی با دمای پخت ۱۲۵۰°C می‌گردد. نتایج بیشتر نشان می‌دهد، افزایش ضایعات چینی استخوانی تا ۵/۶٪ باعث افزایش دو برابری استحکام پخت در دمای ۱۳۴۰°C و همچنین افزایش ۱۵/۲٪ ضایعات باعث افزایش ۴ برابری استحکام پخت در ۱۲۵۰°C می‌گردد. افزایش دانسیته کلی در بدنه‌های پخت شده در ۱۲۵۰°C، کاهش دانسیته کلی و کاهش ضریب انبساط حرارتی در بدنه‌های پخت شده در ۱۳۴۰ °C نیز در اثر افزایش این ضایعات بدست می‌آید.

۱- مقدمه

اجزای اصلی بدنه چینی سخت را سه اکسید آلومینا، سیلیس و پتاسیم تشکیل می‌دهد و مهمترین خواص آن سفیدی، قابلیت گذردهی نور و استحکام می‌باشد. این خواص کاملا به کیفیت مواد اولیه، اتمسفر پخت، بیشینه دما و زمان ماند در بیشینه دمای پخت بستگی دارد[۳-۱]. این محصول بطور معمول حاوی ۷۰٪ فازشیشه و ۳۰٪ فازبلوری (شامل کریستوبالیت و مولایت) است. میزان این فازها کنترل کننده شفافیت، استحکام و ثبات شکل بدنه می‌باشند[۴]. در چینی استخوانی، خاکستر استخوان پس از کلسینه شدن در دمای ۱۱۰۰°C (که شامل هیدروکسی آپاتیت $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ می‌باشد) تا ۵۰ درصد وزنی به ترکیب بدنه چینی اضافه می‌گردد. خاکستر استخوان موجود در چینی استخوانی، در ۷۷۵°C به β تری کلسیم فسفات $[Ca(PO_4)_2]$، CaO و بخار آب (H_2O) تجزیه می‌شود. اکسید کلسیم با متا کائولن حاصل از رس در محدوده

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]

دمایی $1000^{o}C$ ترکیب شده و آنورتیت ایجاد می‌کند [۵]. بنابراین فازهای تشکیل دهنده چینی استخوانی اغلب کریستوبالیت، آنورتیت و وایتلوکیت است[۶]. در این بدنه‌ها، افزایش فاز بلوری به نسبت فاز شیشه باعث افزایش استحکام مکانیکی می‌گردد[۷]. همچنین بعلت پایین بودن ضریب انبساط حرارتی فاز آنورتیت در مقایسه با سایر بلورها قابلیت شوک پذیری و نیز بدلیل نزدیکی ضریب شکست نورآن به ضریب شکست نور فاز شیشه، وجود این بلور باعث افزایش شفافیت عبور دهی نور می‌گردد[۸].

ضایعات بدنه‌های چینی سخت و استخوانی غیر قابل بازیافت می‌باشد و این در حالی است که تلاش‌های زیادی برای استفاده از این ضایعات و ضایعات مشابه در فرمولاسیون چینی شده است. موخوپادهای و همکاران[۹] از ضایعات چینی استخوانی در فرمولاسیون چینی استخوانی استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از این ضایعات می‌تواند باعث بالاتر رفتن استحکام، چگالی قطعه و کاهش دمای پخت گردد. مارینونی [۱۰] ضایعات شیشه سودالایم را در چینی بهداشتی بعنوان گدازآور استفاده کرد و نشان داد که این کار باعث کاهش دمای پخت، کاهش مصرف سوخت و حذف ضایعات از محیط زیست می‌گردد. مشابه همین کار توسط الاسی و همکاران [۱۱] برای استفاده از شیشه سودالایم در چینی سخت صورت گرفته است. همچنین پاگانی استفاده از مقادیر قابل توجه ضایعات چینی سخت را در چینی بهداشتی توصیه کرده است[۱۲]. در تحقیق دیگری داگلاس [۱۳] از خاکستر استخوان بعنوان افزودنی در بدنه‌های چینی سخت استفاده نموده است. در گزارش پیش رو نیز تاثیر افزودن ضایعات چینی استخوانی بر خواص چینی سخت مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه مصرفی

بدنه چینی سخت مورد بررسی دارای ۸۰٪ وزنی رس (۶۵٪ وزنی رس خاک چینی ایران + ۱۵٪ وزنی رس استاندارد پرسلان فرانسه)، ۷٪ وزنی فلدسپار هند و ۱۳ ٪ وزنی سیلیس بود. آنالیز شیمیایی مواد استفاده شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی مواد مصرفی

	فلدسپار پتاسیک سیبلکوی هند (٪)	سیلیس ملایر ایران (٪)	کائولن استاندارد پرسلان (٪) فرانسه	کائولن سوپر خاک چینی ایران (٪)	ضایعات چینی استخوانی (٪)
SiO_2	۶۵/۲	۹۹/۵	۴۶/۳۷	۶۲	۳۴/۹
Al_2O_3	۱۸/۷	۰/۲	۳۷	۲۵/۷	۱۵/۳
CaO	۰/۲۷	-	۰/۲۹	۱/۰۲	۲۷/۱۷
K_2O	۱۲/۲	-	۲/۲۲	۰/۶۸	۳/۰۴
Na_2O	۲/۶۸	-	۰/۰۱	۰/۲	۱/۱۴
MgO	۰/۰۹	-	۰/۳۸	۰/۳	۰/۶۱
Fe_2O_3	۰/۵	۰/۲	۰/۷۶	۰/۵	۰/۲۷
TiO_2	-	-	-	-	۰/۰۷
P_2O_5	-	-	-	-	۱۶/۶۳
Loss on 1100^{C}	۰/۳۱	۰/۱	۱۲/۴	۹/۲	۰/۰۱

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]

۲-۲- آزمایشات دستگاهی

نخست ضایعات چینی استخوانی در دیسک میل مدل Retcsh PRDM01 آسیاب شد و به دانه بندی کمتر از ۱٪ روی الک ۲۵۰ مش رسید. آنگاه از پودر بدست آمده مقادیر ۶، ۱۲، ۱۸ درصد وزنی به ترکیب بدنه اضافه شد (بر این اساس درصد وزنی ضایعات در ترکیب بدنه ۵/۶، ۱۰/۷، ۱۵/۲ درصد وزنی می‌گردد) و در جارمیل مخلوط و آسیاب شدند. در هر آزمایش ۲۵۰۰g از مواد خام با ۱۲۵۰ml آب و ۲/۵ گرم روانساز Dispex N40[1] در جارمیل ۵ لیتری به مدت ۳۹۰ دقیقه آسیاب شد تا به دانه بندی ۵۸٪ وزنی زیر ۱۵ میکرون رسید. سپس دوغاب حاصل به درون تانک ذخیره منتقل شده و از الک ۱۴۰ مش و آهنربای دائمی عبور داده شدند. چگالی دوغاب نهایی در ۱/۸ g/cm^3 تنظیم گردید. آنگاه دوغاب تا رسیدن به ۲۰ درصدوزنی رطوبت بر روی لوح‌های گچی آبگیری شدند و سپس توسط دستگاه اکسترودر آزمایشگاهی[2] به صورت شمش‌های با سطح مقطع ۱*۲cm^2 و طول ۱۰ cm شکل دهی شد و در خشک کن الکتریکی با دمای ۱۰۰°C±۵°C خشک گردید. کلیه نمونه‌ها در کوره صنعتی گازی با ابعاد ۲*۲*۲m^3 با سرعت (۳°C/min) با استفاده از سوخت گازی و با ۲ ساعت ماندگاری در در دمای ۱۲۵۰°C (دمای پخت بدنه چینی استخوانی) و ۱۳۴۰°C (دمای پخت بدنه چینی سخت) پخت گردید. از آنجایی‌که فرایند پخت بدنه بستگی زیادی به محل قرار گیری نمونه در کوره دارد [۱۴]، تمام نمونه‌ها در وسط کوره بارگیری شدند.

[1] Dispex N40, Allied Colloids, UK
[2] Netzsch D-95100

اندازه گیری استحکام پخت شمش‌ها توسط دستگاه استحکام سنج سه تکیه گاهی نچ با سرعت ۲mm/min انجام شد. برای تعیین فازهای بلوری موجود در بدنه از پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد. الگوهای پراش X بر روی دیفرکتومتر یونیسانتیس (XMD-400) با قدرت 30 kV×20 mA ثبت گردید. در این راستا پرتو تک CuKα با طول موج λ=0.154060 nm استفاده شد. میزان فازهای بلورین با اندازه گیری سطح زیر پیک‌ها توسط نرم‌افزار XPert صورت گرفته است.

برای مشاهده ساختار نمونه‌ها، از میکروسکوپ الکترونی نوع کمبریج[3] استفاده گردید. قبل از بررسی نمونه‌ها، قطعات؛ پولیش شده و با اسیدهیدروفلوریک ۵٪ به مدت ۱ دقیقه اسید شویی شدند و سپس روی آنها با استفاده از دستگاه کندوپاش، پوشش‌دهی طلا انجام شده است.

۳- نتایج و بحث

شکل ۱ نمودارهای حاصل از پراش اشعه X نمونه‌های پخت شده و جدول ۲ درصدهای تقریبی بلورهای موجود را نشان می‌دهند. در بدنه چینی سخت بدون ضایعات پخت شده در ۱۲۵۰°C (شکل ۱-A) بلور غالب α کوارتز بوده و به ترتیب مقدار کمی مولایت ($Al_6Si_2O_{13}$)، میکروکلین ($KAlSiO_8$) و آنورتیت ($CaAl_2Si_2O_8$) در آن دیده می‌شود. با افزایش ضایعات چینی استخوانی از میزان کوارتز آن کم شده و بلورهای مولایت و آنورتیت در آن افزایش می‌یابند. بطوری‌که مقدار آنورتیت برای بدنه بدون ضایعات در حدود ۷٪ و برای بدنه با ۱۰/۷ ضایعات حدود ۱۷٪ و فاز مولایت از

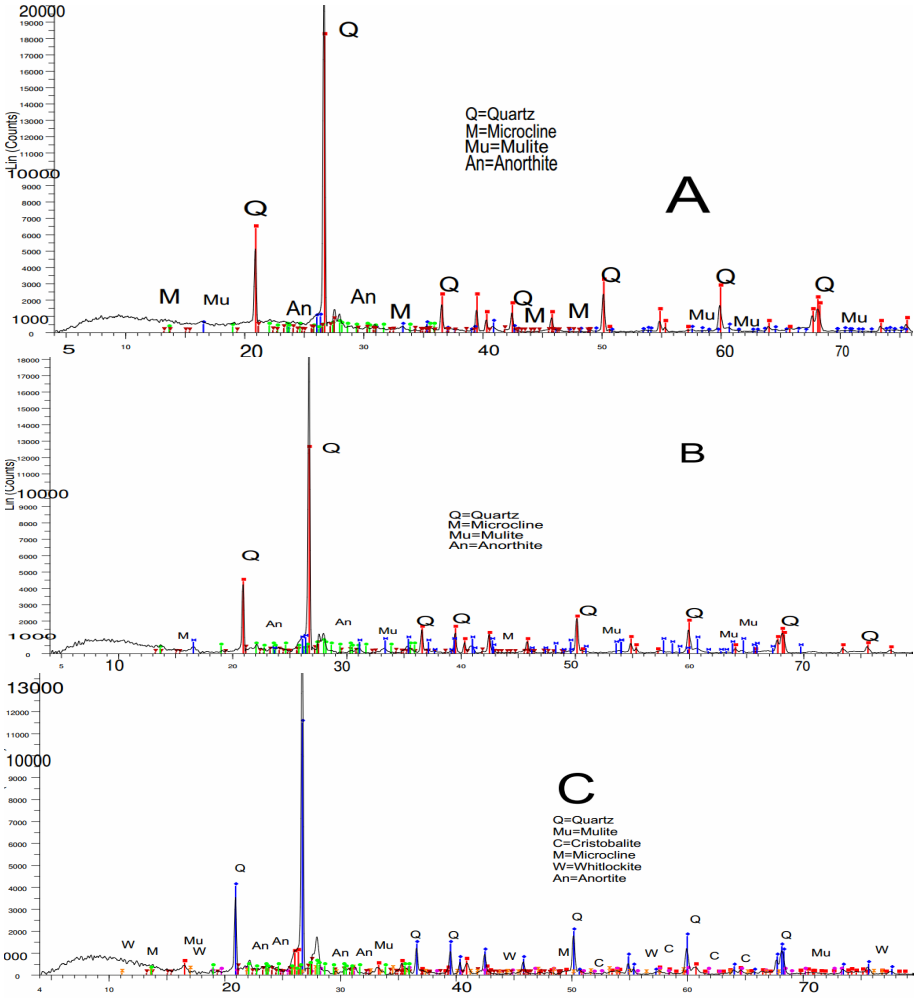
[3] Cambridge S360 analytical scanning electron microscope

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]

۱۳٪ در بدنه بدون ضایعات به حدود ۲۰٪ در بدنه با ۱۰/۷٪ ضایعات افزایش می‌یابد. وجود فاز آنورتیت که در بدنه چینی معمولی مشاهده نمی‌شود می‌تواند به دلیل تمایل شدید CaO آزاد شده از استخوان به ترکیب با متاکائولن تولید شده، باشد. اقبال[۱۵] ادعا کرده که نسبت Al_2O_3/SiO_2 در آنورتیت و متاکائولن ۱:۱ است، بنابراین به نسبت مولایتی که در آن نسبت Al_2O_3/SiO_2 بیشتر از ۳/۲٪ است، تولید آنورتیت از متاکائولن در اولویت قرار می‌گیرد.

فاز کوارتز که در همه نمونه‌های آنالیز شده مشاهده می‌گردد با افزایش ضایعات کاهش می‌یابد (از ۷۰٪ در بدنه بدون ضایعات به حدود ۴۸٪ در بدنه ۱۰/۷٪ضایعات). در درصدهای بالای ضایعات در بدنه پخت شده در دمای ۱۲۵۰°C مقدار کمی فاز کریستوبالیت و وایتلوکیت (β-$Ca_3(PO_4)_2$) نیز مشاهده می‌گردد.

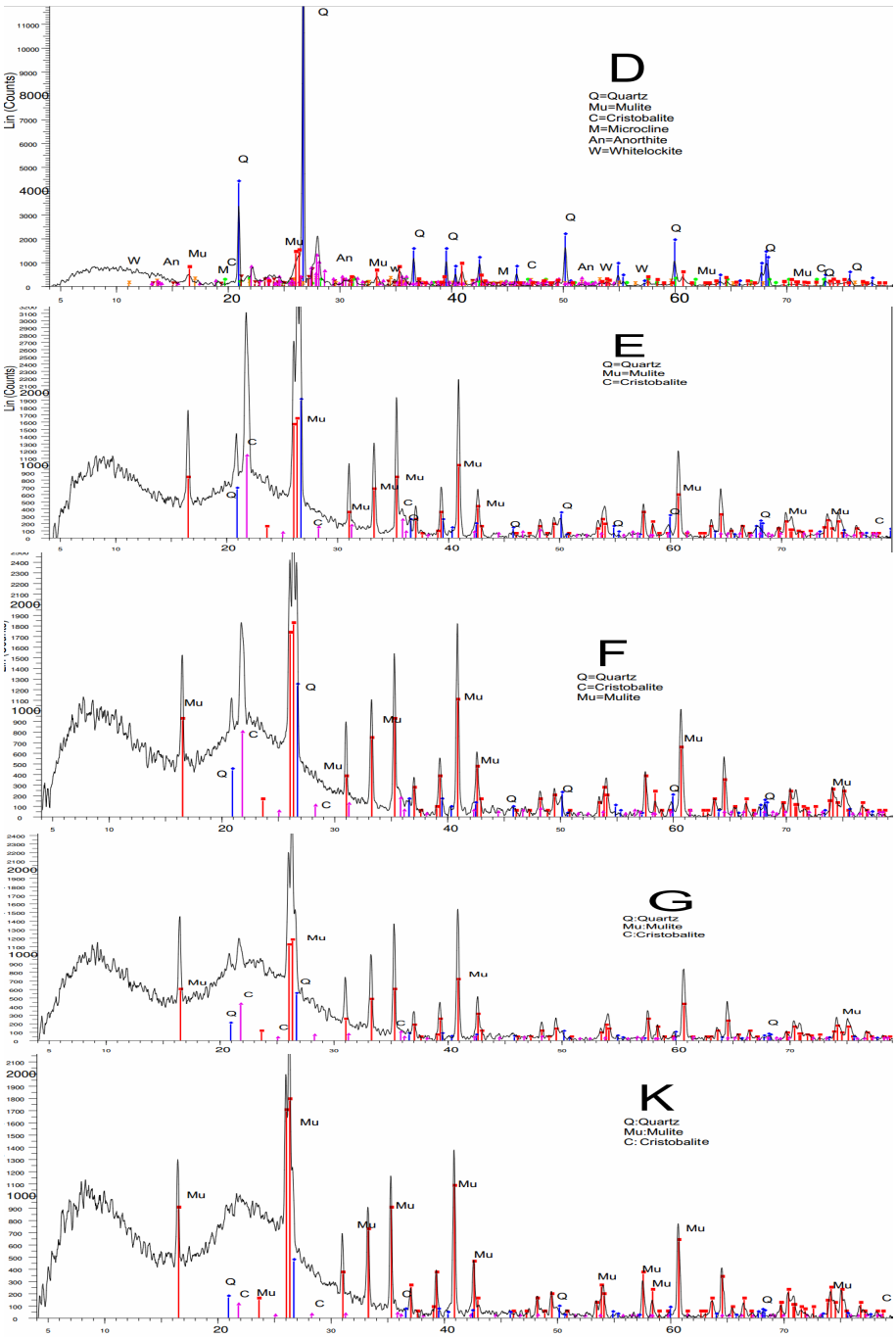
با افزایش دمای پخت به ۱۳۴۰ فازهای میکروکلین، وایتلوکیت و آنورتیت در فاز شیشه حل شده و از بین می‌رود (شکل ۱ – E، ۱-F، ۱-G و ۱- K). همچنین مقداری از فاز کوارتز و کریستوبالیت نیز حل شده و فاز شیشه افزایش می‌یابد. این افزایش مقدار فاز شیشه و کاهش فاز بلورین باعث افزایش میزان افتادگی می‌گردد [۱۷و۱۶].



شکل ۱- تصاویر پراش اشعه X نمونه‌ها

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]



ادامه شکل ۱- تصاویر پراش اشعه X نمونه‌ها

(A) بدنه چینی سخت پخت شده در ۱۲۵۰°C، (B) بدنه چینی سخت با ۵/۶٪ ضایعات، پخت شده در ۱۲۵۰°C، (C) بدنه چینی سخت با ۱۰/۷٪ ضایعات، پخت شده در ۱۲۵۰°C، (D) بدنه چینی سخت با ۱۵/۲٪ ضایعات، پخت شده در ۱۲۵۰°C، (E) بدنه چینی سخت پخت شده در ۱۳۴۰°C، (F) بدنه چینی سخت با ۵/۶٪ ضایعات، پخت شده در ۱۳۴۰°C، (G) بدنه چینی سخت با ۱۰/۷٪ ضایعات، پخت شده در C ۱۳۴۰، (H) بدنه چینی سخت با ۱۵/۲٪ ضایعات، پخت شده در ۱۳۴۰°C

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]

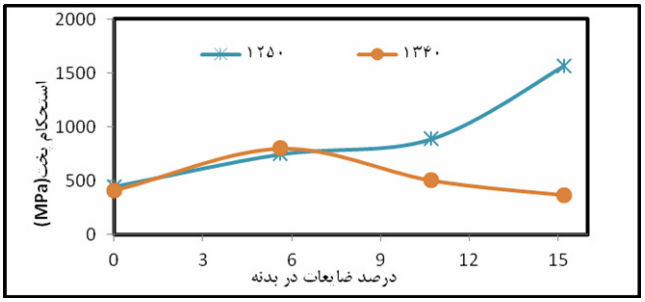
[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]

جدول ۲- درصد فازهای بلوری موجود در بدنه‌ها

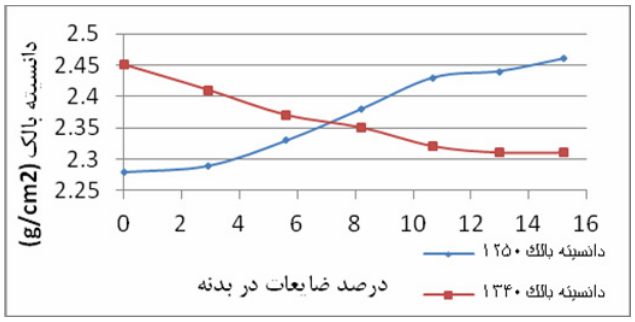
دما (°C)	۱۳۴۰				۱۲۵۰			
درصد ضایعات	۱۵/۲	۱۰/۷	۵/۶	۰	۱۵/۲	۱۰/۷	۵/۶	۰
کوارتز	۶/۴	۸/۶	۱۱/۷	۱۶/۱	۴۷/۶	۵۵/۷	۶۱/۳	۶۹/۸
کریستوبالیت	۴/۷	۲۳/۸	۲۶/۶	۳۴/۱	۳/۲	۳/۲	-	-
مولایت	۸۸/۹	۶۷/۵	۶۱/۷	۴۹/۸	۱۹/۸	۱۷/۶	۱۶/۷	۱۳
وایتلوکیت	-	-	-	-	۳/۹	۴/۲	-	-
آنورتیت	-	-	-	-	۱۶/۹	۹	۱۲/۱	۷/۴
میکروکلین	-	-	-	-	۸/۶	۱۰/۴	۹/۸	۹/۷

با افزایش میزان ضایعات چینی استخوانی مصرفی، استحکام بدنه‌های پخت شده در دمای ۱۲۵۰°C افزایش می‌یابد (شکل ۲). تغییرات استحکام در دمای پخت چینی سخت یعنی ۱۳۴۰°C رفتار متفاوتی نشان می‌دهد. با افزایش میزان ضایعات تا ۵/۶٪ استحکام افزایش می‌یابد، اما بعد از آن استحکام شروع به کاهش می‌نماید به نحوی که در بدنه‌هایی با میزان ضایعات ۱۰/۸٪ به مقدار اولیه خود در ۰٪ می‌رسد و از آن به بعد همچنان کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش می‌تواند افزایش فاز شیشه باشد.

شکل ۳ تغییرات دانسیته کلی را با افزایش میزان ضایعات نشان می‌دهد.



شکل ۲- تغییرات استحکام در دماهای مختلف



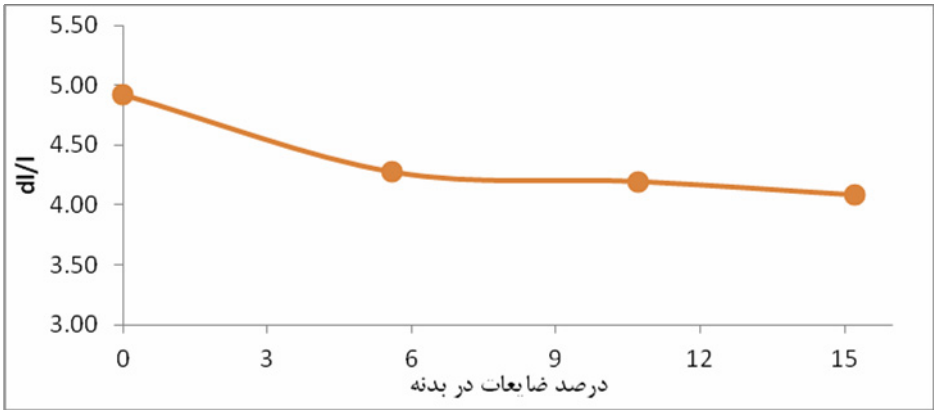
شکل ۳- دانسیته کلی در دمای ۱۲۵۰°C و ۱۳۴۰°C برای بدنه‌های مختلف

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]

در اثر افزایش میزان ضایعات، در دمای ۱۲۵۰°C دانسیته کلی شروع به افزایش می‌نماید که مربوط به بسته شدن تخلخل‌ها و متراکم شدن بدنه می‌باشد اما در ۱۳۴۰°C نتیجه متفاوت است؛ بدنه متراکم و پخته شده در ۱۳۴۰°C در اثر افزایش میزان ضایعات شروع به کاهش دانسیته کلی می‌نماید. این به معنای کاهش دانسیته بدنه در اثر بادکردن بدنه پخت شده به دلیل پخت بیش از حد و خارج شدن گازهای حاصل از ایجاد باندهای جدید می‌باشد. بالاترین میزان دانسیته کلی ۲/۴۶ g/cm^3 در نمونه حاوی ۱۵/۸٪ ضایعات پخته شده در دمای ۱۲۵۰°C مشاهده می‌گردد. افزایش دانسیته کلی باعث کاهش میزان دفرمگی می‌گردد[۱۶]. به طور معمول در دمای شیشه‌ای شدن، تخلخل‌های باز، بسته می‌شوند و تشکیل تخلخل بسته را می‌دهند. تخلخل‌های بسته بدلیل وجود کشش سطحی در فاز مایع شروع به کوچک شدن می‌نمایند تا اینکه فشار گاز داخل حفره با کشش سطحی به تعادل برسد. کوچک شدن تخلخل‌های بسته باعث افزایش دانسیته کلی می‌گردد. این تغییرات و نیز تغییرات میزان فاز بلوری به فاز شیشه تاثیرات خود را در تغییرات استحکام نشان داده است.

تغییرات ضریب انبساط حرارتی α_{30-600} برای بدنه‌های پخت شده در ۱۳۴۰°C در شکل ۴ نشان داده شده است. با افزایش میزان ضایعات، ضریب انبساط حرارتی بدنه پخت شده در ۱۳۴۰°Cکاهش یافته است. کاهش در ضریب انبساط حرارتی می‌تواند به دلیل کاهش مقدار فاز بلوری که دارای ضریب انبساط حرارتی بالاتری از فاز شیشه است، باشد.

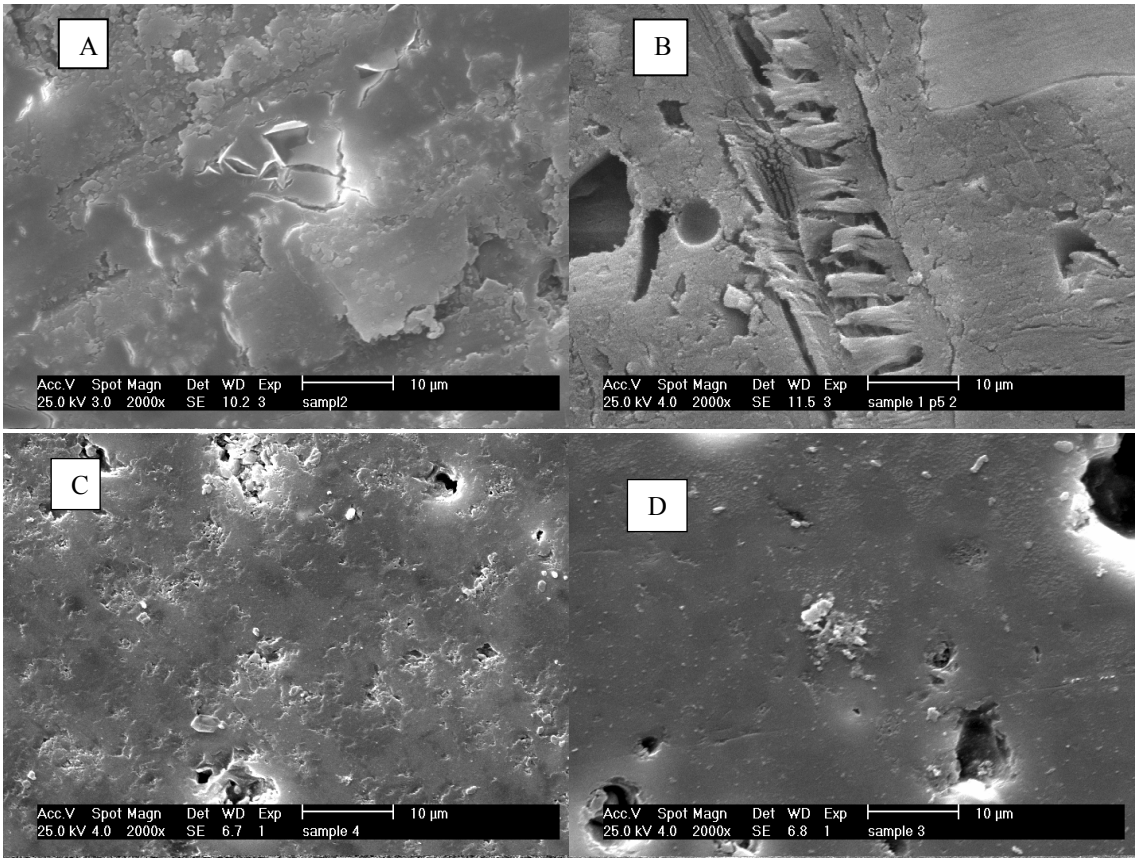
تصویر SEM نمونه‌های اسید شویی شده بدنه چینی سخت و بدنه با ۱۵/۲٪ ضایعات چینی استخوانی پخت شده در ۱۳۴۰°C و ۱۲۵۰°C در شکل ۵ نشان داده شده است. تقریبا هر دو نمونه دارای ساختار یکسان و شبیه هم و از لحاظ مقدار فاز شیشه نزدیک به هم می‌باشند. توزیع یکنواخت ذرات بلور در هردو بدنه دیده می‌شود اما بدنه‌های پخته شده در ۱۲۵۰ °C از بلورینگی بیشتری برخوردارند.



شکل ۴- انبساط حرارتی (α_{0-600}) بدنه‌های پخت شده در ۱۳۴۰°C

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]



شکل ۵- عکس‌های SEM نمونه‌های اسید شویی شده پخته شده بدنه چینی سخت و بدنه با ۱۵/۲٪ ضایعات

A: بدنه چینی سخت پخت شده در ۱۲۵۰°C

B: بدنه چینی سخت با ۱۵/۲٪ ضایعات پخت شده در ۱۲۵۰°C

C: بدنه چینی سخت پخت شده در ۱۲۵۰°C

D: بدنه چینی سخت با ۱۵/۲٪ ضایعات پخت شده در ۱۲۵۰°C

۴- نتیجه‌گیری

در بدنه چینی سخت پخت شده در ۱۲۵۰°C بلورهای کوارتز مولایت آنورتیت و میکروکلین مشاهده می‌گردد که با افزایش ضایعات چینی استخوانی به بدنه چینی سخت از میزان کوارتز کم شده و بلورهای مولایت و آنورتیت در آن افزایش می‌یابد. همچنین دانسیته کلی و استحکام پخت نیز بهبود می‌یابد. با افزایش دما در بدنه چینی سخت فاز آنورتیت و میکرو کلین در فاز شیشه حل می‌شود، کوارتز کاهش می‌یابد و کریستو بالیت و مولایت در بدنه پخت شده در ۱۳۴۰°C افزایش می‌یابد. با افزایش ضایعات چینی استخوانی و پخت در این دما کریستوبالیت و کوارتز کاهش می‌یابد و مولایت در بدنه رشد می‌کند. دانسیته کلی و ضریب انبساط حرارتی کاهش می‌یابد. استحکام بعد از پخت نیز با افزودن تا حدود ۵ درصد ضایعات چینی استخوانی تا ۷۰٪ افزایش می‌یابد اما بعد از آن با شیب ملایم کاهش

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]

می‌یابد به طوری که در بدنه با ۱۵٪ وزنی ضایعات به کمتر از مقدار اولیه خود می‌رسد. بنابراین افزایش ضایعات چینی استخوانی به بدنه چینی سخت علاوه بر جلوگیری از هدر رفت مواد اولیه و آلودگی محیط زیست، ضمن کاهش دمای پخت بطور کنترل شده می‌تواند باعث بهبود خواص بدنه چینی سخت پخت شده در ۱۳۴۰°C گردد.

مراجع

[1] A. J. Forrester, "Impact of raw material change on bone china manufacture", Brit. Ceram. Trans. J. 85(6), pp 180-183, (1986).

[2] G. Ghosh, B. N. Samadar, "A note on translucency of unglazed bone china body", Trans. Ind. Ceram. Soc. 43(5), pp 132-134, (1984).

[3] G. Ghosh, B. N. Samadar, "An Optimum firing schedule of standard bone china ware", Trans. Ind. Ceram. Soc. 47(1), pp 16-19, (1988).

[4] E. Suvaci, N. Tamsu, "The role of viscosity on microstructure development and stain resistance in porcelain stoneware tile", J. Eur. Ceram. Soc. 30(15),pp 3071-3077, (2010).

[5] Y. Iqbal, P. F. Messer, W. E. Lee, "Microstructural evolution in bone china", Brit. Ceram, Trans. 99(5) , pp 193-199, (2000).

[6] A. Arastehnodeh, T. Zakeri, Z. Hejazi, S. Boroomandi barati, "Influence of Bone ash on Bone china characteristics at constant firing temperature", Aust. Ceram. Soci. 51(2), pp 75-83, (2015).

[7] C. B. Ustundag, Y. K. Tur, and A. Capoglu, "Mechanical behaviour of a low-clay translucent whiteware", Journal of the European Ceramic Society. 26 (1), pp 169-177,(2006).

[8] S. Mucahit, S. Akkurt, "Utilization of recycled paper processing residues and clay of different sources for the production of porous anorthite ceramics", Journal of the European ceramic society, 30(8), pp 1785-1793, (2010).

[9] T. K. Mukhopadhyay, S. Ghosh, S. Ghatak, "Phase analysis and microstructure evolution of a bone china body modified with scrap addition", Ceramic International 37, pp 1615-1623, (2011).

[10] N. Marinoni, D. D'Alessio, V. Diella, A. Pasves, F. Francescon, "Effect of Soda-lime-silica waste glass on mullite kinetics and micro-structures development in vitreous ceramic", 124, pp 100-107, (2013).

[11] A. K. Oulaseyi, M. Atul, S. K. Das, "Effect of substitution of Soda-Lime scrap glass for K-feldespar in triaxal porcelain ceramic mix", Interceram 62(2), pp 299-303, (2013).

[12] E. Pagani, D. Milone, M. P. Campolo, R. D. Maschio, F. Francescon, "Technological benefits from the use of powdered vitreous china scraps in sanitaryware production", Interceram 47(2), pp 79-87,(1998).

[13] D. Gouvea, T. T.Kaneko, H.Kahn, E. Conceicao, J. Antoniassi, "Using bone ash as an additive in porcelain sintering", Ceramic International, 41, pp 487-496, (2015).

[14] P. Pierre, "Constituion of bone china:I. High temperature phase equilibrium studies in the system tricalcium phosphate-anorthitesilica", J. Am. Ceram. Soc. 37, pp 243-258, (1954).

[15] Y. Iqbal, P. E. Messer, W. E. Lee, "Non-equilibrium microstructure of bone china", Brit. Ceram. Trans. 99(3), pp 110-116, (2000).

[16] S. R. Braganca, C. P. Bergmann, "A view of whitewares mechanical strength and microstructure", Ceram. Int. 29, pp 801-802, (2003).

[17] S. A. F. Batista, P. F. Messer, R., J. Hand, "Fracture toughness of bone china and hard porcelain", Brit. Ceram., Trans. J. 100(6), pp 256-259, (2001).

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.4.2.8]