

1- مقدمه

سرامیک، رس یا مواد شبیه به آن است که تبدیل به خمیر شده، شکل می گیرد، خشک می شود و سپس در دمای بالا برای رسیدن به استحکام مورد نیاز پخت می گردد. با این تعریف انواع مختلف محصولات سرامیکی می توان یافت:

- سرامیک برای ساختمانها یا برای دکور ساختمانها مانند آجرها ، کاشی دیواری ، کاشی کف و کاشی سقف
- سرامیک برای عملیات ذوبنسوزها
- سرامیک برای صنایع الکترونیک عایق ها
- سرامیک برای آب وفاضلاب لوله های رسی
- سرامیک برای خانه ها و رستوران ها ظرف رومیزی
- سرامیک های هنری وزئینی....
- توسعه مواد جدید برای برآورده کردن نیازهای صنایع مدرن سرامیک های ظریف

بنابراین، بسیاری از محصولات سرامیکی زندگی مدرن امروز را متأثر ساخته است. تولید قطعات سرامیکی قدیمی ترین تکنولوژی در تاریخ زندگی بشر بوده است و هنوز هم ارتباط تنگاتنگی با زندگی بشر دارد. دانش استفاده از رس به قبل از دوران ثبت تاریخ برمی گردد. بیشتر از 15000 سال است که انسان فهمید رس ها وقتی خشک می شوند سخت می گردند و وقتی با آب ترکیب می شوند و به شکل خمیر می شوند می توان آنها را شکل داد و وقتی پخت می شوند محکم تر می شوند. در حقیقت رس ها سال های زیادی است که مورد استفاده قرار می گیرند، حتی قبل از آنکه هنر شکل دادن سرامیک ها به این مهارت برسد.

ظروف رومیزی بخشی از سرامیک است که بیشتر در زندگی روزمره مورد استفاده قرار می گیرد و از نظر کاربرد آنها می توان دسته زیر را انجام داد:

1- تراکوتا (Terra cotta) یا سفال

محصولی که لعاب ندارد¹ و جذب آب دارد.

2- ارتن ور (Erthenware)

محصولی که لعاب دارد و جذب هم دارد.

¹ Unglazed

3- استون ور Estoneware

محصولی که رنگی است ، کمی جذب آب دارد و نور از آن عبور نمی کند.

4- پرسلان porcelain

محصولی که شفاف است² ، سفید است، آب در آن نفوذ نمی کند و برای مقاصد تزئینی ممکن است رنگی باشد.

محصولات رومیزی سرامیکی که در بازار وجود دارد در حال حاضر شامل ارتن ور (ظریف و ضمخت) ، استون ور و پرسلان (نرم و سخت) می باشد. این محصولات می توانند براساس خصوصیات فیزیکی دسته بندی گردند (جدول 1-1). این طبقه بندی بر اساس خصوصیات عمومی آنها می باشد و بعضی از این خصوصیات ممکن است در موارد خاص تغییر کند.

جدول 1-1- انواع ظروف رومیزی

پرسلان		استون ور	ارتن ور		
سخت	نرم		نرم	ضمخت	
ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	جذب آب
دارد	دارد	ندارد	ندارد	ندارد	شفافیت
سخت	سخت	سخت	نرم	نرم	استحکام بدنه
سفید	سفید	رنگی	سفید	رنگی	رنگ بدنه
نرم	نرم	نرم	خشن	خشن	دانسیتته
دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	لعاب
سخت	نرم	سخت	نرم	نرم	سختی لعاب
شفاف	شفاف	اُپک	شفاف	اُپک	نوع لعاب

آغاز فصل جدید تاریخ سرامیک در حدود قرن 9 می باشد، زمانی که تولید محصولات سرامیک شفاف (ترانسلوسنس) که پرسلان گفته می شود در کشور چین آغاز شد. پرسلان های چینی در قرن 17 به تکامل رسید، در این زمان ، تجارت جهانی فعال شده بود و تلاش زیادی برای تولید پرسلان های چینی در سایر کشورها آغاز شد.

² Translucent

در ژاپن نیز تولید پرسلان در آریتا³ و در کیوشو⁴ در قرن 17 شروع شد. در اروپا، به هر حال تلاش‌ها برای رسیدن به پرسلان با شکست مواجه شد زیرا آنها کائولن را که یکی از عمده ترین مواد خام سرامیکی است را نمی شناختند. به عبارت دیگر، تلاش آنها برای ساختن پرسلان به توسعه شکل جدیدی از سرامیک‌ها به نام (فریت پرسلان) منجر شده نسخه پیشرفته فریت سرامیک، بن چاینا می باشد که قبل از آن در شرق ویا در اروپا دیده نشده بود. امروزه چینی استخوانی به عنوان چینی درجه اول مشهور است.

2- چینی استخوانی Bone China

چینی استخوانی نوعی پرسلان نرم⁵ است، ترکیبی از خاکستراستخوان⁶، مواد فلدسپاتی و کائولن می باشد. این نوع چینی بعنوان کالایی با بدنه شفاف⁷ شامل حداقل 30% فسفات مشتق شده از استخوان حیوانات دارای فسفات کلسیم می باشد. به طبق تعریف جوزیا اسپاد⁸ چینی استخوانی توسط سفیدی و شفافیت بالا و همچنین مقاومت در برابر شوک، ضربه و استحکام مکانیکی خیلی بالا و مقاومت فشاری پایین⁹ آن شناخته می شود.

براساس تعریف ASTM، چینی استخوانی پرسلان نرم با شفافیت بالا که شامل حداقل 25% خاکستر در بدنه و جذب آبی کمتر از 2% می باشد. فرق عمده چینی استخوانی با سایر محصولات پرسلانی این است که در آن خاکستر استخوان بعنوان ماده اولیه مورد استفاده قرار می گیرد. مقاومت بالای بن چاینا به دلیل تطابق انبساط حرارتی خوب بین شیشه و بلورهای موجود در آن و تاحدی ابعاد کوچک این بلورها می باشد.

³ Arita

⁴ Kyushu

⁵ Soft past any various ceramics containing frit and refine clay

⁶ Bone ash

⁷ translucent

⁸ Josiah Spode

⁹ chip resistance

2-1- تاریخچه

اولین چینی که ما در حال حاضر به عنوان چینی استخوانی می شناسیم توسط توماس فری¹⁰ در کارخانه پرسلان باو¹¹ نزدیک باو در شرق لندن در سال 1748 ساخته شد. کارخانه او بسیار نزدیک به بازار احشام و کشتارگاه ایسکس¹² بوده و بدین جهت دسترسی به استخوان حیوانات بسیار آسان بود. فری تا 45% خاکستر استخوان در فرمولش زد تا آنچه را که امروز پرسلان نرم¹³ خوانده می شود، بسازد. اگر چه به لحاظ کیفیت نظیر چینی های وارداتی از اروپا و چین بود اما نتوانست به موفقیت های تجاری در این زمینه برسد. بعد ها، جوزیا اسپاد در استوک این مسئله را توسعه داد و فرمول خود را در میان سالهای 1789 تا 1793 تکمیل نموده، از جمله تغییری که صورت گرفت این بود که او بجای اینکه فقط استخوان را کلسینه کند همه اجزای بدنه را کلسینه می کرد.

بن چاینا خیلی سریع محبوب شد و منجر به اشاعه آن به سایر تولید کنندگان سرامیک انگلیس گردید. اسپاد هم در تجارت و هم در فرمول به موفقیت رسیده، فرمول او 6 قسمت خاکستر استخوان، 4 قسمت سنگ چینی¹⁴ و 3/5 قسمت خاک رس بود. از ابتدای پیدایش تا دهه های انتهایی قرن 20، چینی استخوانی محصول اختصاصی کشور انگلستان بود که انحصاراً در منطقه شهری مرکزی انگلستان¹⁵ تولید می شد.

2-2- ترکیب شیمیایی

چینی استخوانی 2 فاز کریستالی دارد: آنورتیت ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) و تری کلسیم فسفات β ($3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$) که در مذاب غوطه ور است. استحکام بالای آن این اجازه را می دهد که در سطح مقطع بسیار نازک تر از سایر انواع پرسلان ها تولید گردد.

¹⁰ thomas Frye

¹¹ Bow porcelain

¹² essex

¹³ Fine porcelain

¹⁴ china stone

¹⁵ stoek on trend

عامل کلیدی در بدنه بن چاینا وجود پتاتری کلسیم فسفات در محصول نهایی است. این ترکیب می تواند با استفاده از خاکستر استخوان طبیعی و یا مصنوعی بدست آید. شرکتهایی هستند که 100% از خاکستر مصنوعی استفاده می کنند و بعضی شرکتها نیز 100% از خاکستر طبیعی و بعضی نیز مخلوطی از آن ها را استفاده می کنند. در طی 20 سال گذشته بدلیل وجود مشکلات متفاوت استفاده از خاکستر استخوان مصنوعی رو به کاهش است. البته هنوز این باور وجود دارد استفاده از خاکستر استخوان مصنوعی بدنه ای سفیدتر می سازد اما این مسئله کاملاً به کیفیت کائولن مصرفی بستگی دارد و اگر از یک کائولن یکسان استفاده شود چشم انسان قادر به تشخیص تفاوت بین رنگ آنها نخواهد بود.

بزرگترین مسئله استفاده از خاکستر استخوان مصنوعی خاصیت پیروپلاستیک و رنج پخت باریک تر آن است. این عامل باعث شده که همه شرکت ها به سمت خاکستر استخوان طبیعی حرکت کنند اما این حرکت چندان آسان نیست زیرا اختلاف بین انقباض این قطعه ای که با خاکستر مصنوعی ساخته شده و این قطعه ای که با خاکستر طبیعی ساخته شده متفاوت است و این بدنه ها بیشتر از قطعه ساخته شده با خاکستر طبیعی انقباض دارد و چنانچه این تغییر صورت بگیرد تمام قالب ها باید مجدد ساخته شوند. گاهی اوقات نیز شرکت های تولید کننده خاکستر استخوان مصنوعی¹⁶ (DCP) را کلسینه کرده و اکثراً با کربنات کلسیم در بدنه مخلوط می کنند تا جایگزین خاکستر استخوان طبیعی گردد.

در جدول 1-2 آنالیز شیمیایی چند نوع بدنه چینی استخوانی آمده است.

	G-CB229	BCB274G	B-SGs-G1	B-SGs-c	Lan Young	B-SGs-c2	G-BCB340
SiO ₂	31/31	34/22	34/92	38/28	30/86	37/19	31/36
Al ₂ O ₃	13/91	14/04	12/76	13/92	14/85	13/01	13/6
P ₂ O ₅	19/23	19	18/94	16/41	19/71	16/63	20/06
CaO	25/04	24/55	24/76	22/04	25/57	23/17	26/29
K ₂ O	3/41	1/47	2/23	1/88	1/26	1/77	1/3

Na ₂ O	0/53	1/46	1/12	0/86	1/01	0/73	1/09
MgO	0/68	0/67	0/66	0/6	0/6	0/61	0/67
Fe ₂ O ₃	0/23	0/24	0/43	0/23	0/17	0/27	0/25
TiO ₂	0/15	0/06	0	0/08	0/02	0/07	0/06
Loss(1025)	5/5	4/69	4/08	5/63	5/86	6/39	5/05

2-3- مواد تشکیل دهنده چینی استخوانی

تولید چینی استخوانی شبیه پرسلان است ، فقط بخاطر پلاسیسته پایین تر آن و رنج شیشه ای شدن باریک آن مراقبت های بیشتری نیاز دارد. فرمول سنتی چینی استخوانی بصورت 25% کائولن ، 25% سنک کورنیش¹⁷ و 50% خاکستر استخوان می باشد. خاکستر استخوانی که در چینی استخوانی استفاده می شود از استخوان احشامی استفاده می کنند که آهن کمتری دارند. این استخوان ها قبل از ژلاتین گیری خرد می شوند و سپس تا دمای 1250°C کلسینه می گردند تا خاکستر استخوان تولید شود و سپس این خاکستر برای رسیدن به ابعاد نرم تر آسیاب می گردد و به آن کائولن اضافه می شود تا پلاسیسته خام لازم برای شکل گیری بدنه را ایجاد کند و سپس برای کاهش نقطه ذوب با فلدسپار ترکیب می گردد. این ترکیب تا حدود 1250°C پخت می گردد. مواد اولیه مورد استفاده برای چینی استخوانی نسبتاً گران هستند و تولید آن کار زیادی می طلبد به همین دلیل است که چینی استخوانی کالای لوکس و گران قیمت محسوب می گردد بنابراین عمده ترین مواد مورد نیاز برای تولید چینی استخوانی خاکستر استخوان، فلدسپار، سیلیس، کائولن و بال کلی می باشد.

2-3-1- خاکستر استخوان

آنالیز خاکستر استخوان کلسینه شده نشان می دهد که این ماده دارای 67 تا 85% فسفات کلسیم و 2-3 درصد فسفات منیزیم و 3-10 درصد کربنات کلسیم و مقادیر کمی CaF و CaF₂ است. البته این مقدار با توجه به منشا استخوان و فرایند مورد استفاده می تواند تغییر کند. فرمول تقریبی آن به صورت 4Ca₃(PO₄)₂.Cao با دانسیته تقریبی 3/1 و نقطه ذوب 1670 درجه سانتیگراد میباشد. این ماده از

¹⁷ cornish stone

نظر شیمیایی خنثی بوده و فاقد مواد آلی است و مقاومت حرارتی خوبی دارد. با وجود این که استخوان کلسینه نشده از نظر شیمیایی هیدروکسی آپاتیت است، اما بسیاری معتقد هستند که عامل هیدروکسیل در موقع کلسینه شدن از بین می رود.

دو نوع خاکستر استخوان وجود دارد : خاکستر استخوان طبیعی و مصنوعی. از تری کلسیم فسفات $(Ca_3(PO_4)_2)$ و دی کلسیم فسفات بعنوان خاکستر استخوان مصنوعی نام برده می شود. تری کلسیم فسفات از کلسینه شدن سنگ های فسفاتی حاوی آپاتیت و یا واکنش اسیدفسفریک با آهن ایجاد گردد درحالیکه دی کلسیم فسفات (که شباهت زیادی به خاکستر استخوان ندارد) از تجزیه آپاتیت در اسید سولفوریک و یا استخوان حیوانات در اسید کلرید ریک حاصل می شود. جایگزینی خاکستر استخوان طبیعی با مصنوعی مشکلات زیادی را تولید می کند زیرا خاکستر استخوان طبیعی بافت سلولی خود را حتی پس از کلسینه شدن حفظ می کند.

وقتی از خاکستر استخوان طبیعی استفاده می کنیم عملیاتی باید روی آن انجام دهیم تا برای تولید چینی استخوانی آماده شود. همانطور که قبلا عنوان شد این عملیات شامل کلسینه کردن و خردایش می گردد. قبل از کلسینه کردن استخوان مقدار افت وزنی آن در اثر حرارت "Loss On Ignition" در حدود 15 % می باشد که مربوط به مواد آلی می گردد. استخوانها در حدی کلسینه می گردند که این افت وزنی به 1 تا 2 درصد کاهش پیدا کند. زیرا حضور این مقدار مواد آلی در افزایش پلاستیسیته و استحکام خام موثر است. چنانچه این مقدار به صفر برسد به آن "dead burnt" گفته می شود که کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. به استخوانهایی که افت وزنی آنها به کمتر از 1% برسد اصطلاحاً "Hard Calcined" گفته می شود. بدنه های تشکیل شده با این استخوان استحکام کمی داشته و زمان ریخته گری آنها کوتاه خواهد بود و دمایی بالاتری برای پخت کامل نیاز دارند. بدنه تهیه شده از آنها دانسیته بالاتری دارند (حدود 2/6 کیلوگرم بر سانتیکتر مکعب) و در نتیجه احتمال دفرمگی آنها کم است چنانچه افت وزنی بالاتر از 2% باشد اصطلاحاً به آن "Easy calcined" گفته می شود

. بدنه های تهیه شده با این استخوانها دارای پلاستیسیته و استحکام خام بالاتر بوده و در دمای پایین تری ذوب می گردند و بدنه تهیه شده از آنها دانسیته کمتری دارند (حدود 2/4 کیلوگرم بر سانتیکتر مکعب) و در نتیجه احتمال دفرمگی آنها بالاست. بهترین حالت افت وزنی حدود 1/8% گزارش شده است.

به دلیل قیمت بالای این ماده تلاش های زیادی جهت کاهش مصرف آن در بدنه صوت گرفته است. بطوریکه از محصولات بالای 45% بعنوان FINE BONE CHINA و محصولات حاوی 20 درصد خاکستر استخوان بعنوان BONE CHINA نام برده می شود. در برخی از مراکز تولیدی از آنورتیت بعنوان جایگزین استفاده می گردد که بدلیل ایجاد رنگ خفیف آبی- سبز به آن مقداری اکسیدروی جهت تشکیل اسپیندل ZnAl2O3 سفیدرنگ اضافه می گردد.

جدول 1-3 - ترکیب چند نمونه خاکستر استخوان

	گلوبال *	پنجاب *	Comple x Produc † (0023)	KZW158 (KALZIUMWEIS S)	Lan Young	سنتز ي
SiO ₂	1/18	0/43	0/09	0/1	0/59	0
Al ₂ O ₃	0/04	0/09	0/06	0/15	0/08	0
P ₂ O ₅	41/07	40/50	/65 41	44/18	/04 41	43/6
CaO	52/95	53/05	/25 55	54/61	/15 55	54/7
K ₂ O	0/05	0/08	!!	0/05	!!	0
Na ₂ O	0/73	0/17	!!	0/05	!!	0
MgO	1/18	1/01	1/40	0/05	1/1	0

Fe ₂ O ₃	0/04	0/03	0/08	0/07	0/08	0	
TiO ₂	0/01	0/01	!!	0/05	!!	0	
Loss@1100C	1/22	2/09	0/35	1/25	!!	0	
Ca ₃ [PO ₄]O 2			96/9				

*براساس آنالیز گرفته شده توسط شرکت کانپژوه

2-3-2 - فلدسپار

فلدسپار دمای ذوب بدنه را پایین می آورد (دمائی که در آن فاز شیشه شکل می گیرد) و انقباض پخت را افزایش می دهد. فلدسپار خودش دمای ذوب تعریف شده ای ندارد. به دلیل اختلاف زیاد بین نقطه نرمی و نقطه ذوب و ویسکوزیته بالای مایع مذاب یکی از مهمترین مواد برای تولید پرسلان ها می باشد. آنالیز یک نمونه فلدسپار مناسب برای بدنه بن چاینا در جدول 4-1 آمده است.

جدول 4-1- آنالیز چند نمونه فلدسپار

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Loss
Gp200	65/2	18/7	0/27	0	0/12	2/68	0/12	0/31

2-3-3- سیلیس

سیلیس به کاهش تخلخل، افزایش استحکام و بهبود سفیدی و شفافیت محصول کمک می کند. ولی در عوض محصول را به تغییرات دمائی در هنگام پخت حساس می نماید. سیلیس مورد استفاده در حال حاضر شامل 99% اکسیدسیلیسیم با حداقل میزان آهن می باشد.

2-3-4- کائولن

این مواد برای افزایش پلانسیته مورد نیاز و قابلیت شکل دهی بدنه در ترکیب بدنه مورد استفاده قرار میگیرند. وظیفه اصلی این مواد شامل موارد زیر می گردد:

* پلاستی سیده و کارپذیری در طی شکل دهی

* مقاومت مکانیکی قبل از پخت

* شرکت در شیشه سازی در طی پخت بدنه

افزون بر آن، این مواد رئولوژی دوغاب و شرایط ریخته گری در قالب را تعیین کرده و هم چنین انقباض خام و پخت و رنگ بدنه پس از پخت را تحت تاثیر قرار می دهند. برای افزایش

بیشتر پلاستیسیته و استحکام خام اغلب 2 تا 3% بالکلی و یا 0/5 درصد بنتونیت و یا 0/05% صمغ عربی یا CMC به ترکیب اضافه می گردد. جایگزینی مقداری بال کلی سفیدی بدنه را کاهش می دهد. آنالیز چند نمونه از این مواد در جدول 1-5 آمده است.

جدول 1-5- آنالیز شیمیایی چند نمونه کائولن و بالکلی مصرفی

	Zswnk1	OKA-g	SP	Puraflo-balclay
SiO ₂	62	52	46/37	47/3
Al ₂ O ₃	25/7	34	37	31/9
CaO	1/02	0/18	0/29	0/2
K ₂ O	0/68	0/24	2/22	2/0
Na ₂ O	0/2	0/01	0/01	0/2
MgO	0/3	0/23	0/38	0/3
Fe ₂ O ₃	0/5	0/18	0/76	1/2
TiO ₂				0/9
Loss@1100C	9/2	13/16	12/4	15/9

2-3-5- کربنات کلسیم

نظیر فلدسپار، کربنات کلسیم گداز آوری است که باعث کاهش نقطه ذوب بدنه می گردد. آنالیز نمونه ای از این ماده در جدول 1-6 آمده است.

جدول 1-6- آنالیز چند نوع کربنات کلسیم

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Loss
A	0/11	0/61	54/68	0/97	-	-	-	-	42/62
B	0/4	0/2	55/05	0/04	0/05	0/2	-	-	43/8

2-3-6- فریت

فریت لایه نازک و همگن، شفاف، شیشه ای، سخت و غیر قابل نفوذ در مقابل گاز و مایع روی سطح محصولات سرامیکی می باشد. چندین روش برای دسته بندی لعاب ها وجود دارد. برای مثال، لعاب ها می توانند بر اساس نقطه ذوب به لعاب های دما پایین (900 °C تا 1120 °C) لعاب ها با دمای ذوب متوسط (1140 °C-1300 °C) و لعاب های دما بالا (1350 °C) تقسیم بندی گردند.

در چینی استخوانی، لعاب های دما پایین مورد استفاده قرار می گیرد زیرا دمای پخت چینی استخوانی پایین است.

در لعاب های دما پایین است معمولا از سرب، اسید بوریک یا براکس استفاده می شود که در آب محلول بوده و سمی می باشند و برای بدن مضر است. بنابراین قبل از استفاده به شکل فریت در می آیند تا قدری از این مشکلات کاسته شود. آنالیز چند نوع فریت در جدول 1-7 آمده است.

جدول 1-7- آنالیز و ترکیب چند نوع فریت

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	BaO	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	Loss
SarG	/57 51	/03 10	5/94	0/24	4/56	2/4	/53 13	!!	0/12	!!	0/08
sarG-m	/48 55	10/1	6/21	0/19	4/49	4/94	/6 16	2/58	0/12	1/91	0/08
	براکس	فلدسپار	سیلیس	کربنات کلسیم	نیترات سدیم	هیدروکسید سدیم	پودر شیشه	کائولن	سرب سفید		
A	21	26	21	13	0/5	3	15	-	-	-	-
B	33	22	20	18	-	-	7	-	-	-	-
C	14	28	17	-	7	-	-	-	28	-	6

2-4- فرایند تولید

2-4-1- آماده سازی مواد

شکل 1-1 فرایند آماده سازی مواد را بطور شماتیک نشان می دهد:

همانطور که در شکل پیداست خاکستر استخوان شسته شده در صورتیکه دانه بندی درشت داشته باشد ابتدا در بالمیل آسیاب می گردد تا آنجا که 82 درصد ذرات از الک 15 میکرون (1000 مش استاندارد) عبور نماید سپس از الک 63 میکرون (240 مش) عبور کرده و الک و مگنت می گردند و داخل همزن ریخته می شوند. همچنین مواد درشت نظیر سیلیس و فلدسپار و مقداری کائولن (برای جلوگیری از تراسب) به داخل بالمیل دیگری ریخته شده تا به دانه بندی مناسب (60% کمتر از 15 میکرون) برسد سپس از دواک 140 مش (105 میکرون) بطور همزمان عبور کرده و توسط آهنربای دائمی یا الکتریکی مگنت می گردد و به این مخلوط اضافه می گردد.

محصول نهایی از موجود در همزن با کائولن و بالکلی شسته شده مخلوط شده و از دوالك 63 میکرون (240 مش) عبور کرده و مگنت می گردد و به داخل همزن (بلانجر) نهایی¹⁸ ریخته می شود. در این مخزن از دوغاب نهایی تست آلودگی¹⁹ گرفته شده و در صورت مطلوب بودن آماده فرایند بعدی خواهد بود در غیر این صورت مجدد الك و مگنت می گردد.

برای انجام تست آلودگی 10 لیتر دوغاب از همزن نهایی برداشته شده و از الك 63 میکرون (230 مش) عبور داده و مانده روی الك را در ظرفی ریخته و خشک کرده و در کوره بیسکوئیت (1240 درجه سانتیگراد) پخت می نمایند. ذرات پخت شده نباید حاوی ذرات سیاه رنگ آهن قابل مشاهده باشد.

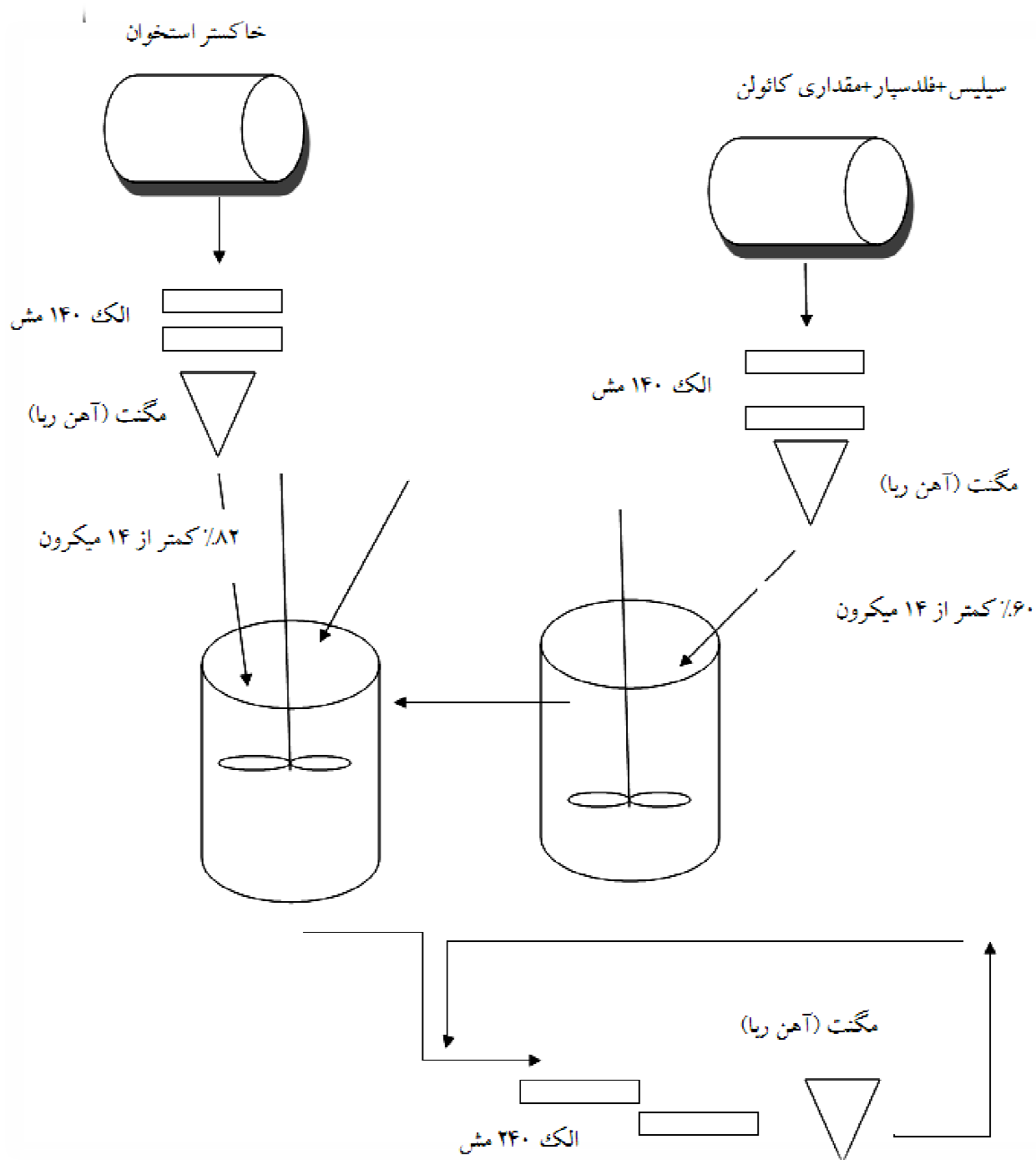
این دوغاب برای دو منظور قابل استفاده است. چنانچه مقرر است شکل دهی توسط دستگاه فرمینگ²⁰ صورت گیرد. دوغاب با دانسیته 1/45 گرم بر میلی لیتر و ویسکوزیته 250 تا 260 درجه (اندازه گیری با ویسکوزیتر بروکفیلد) به فیلتر پرس منتقل شده (برای افزایش ویسکوزیته از اسید کلریدریک استفاده می شود) و با فشار 20 تا 24 بار به مدت 45 دقیقه آب گیری می گردد. کیک ها با رطوبت حدود 20% از فیلتر خارج شده و توسط اکسترود اولیه اکسترود شده و کالباس²¹ خروجی در ایجینگ روم در دمای حدود 27 درجه سانتیگراد به مدت 24 ساعت نگهداری می گردند و سپس توسط اکسترودر ثانویه تحت خلا (0/6 تا 0/8 بار) دوبار اکسترود می گردد تا کالباس هایی با ابعاد مناسب و سختی حدود 20 تهیه گردد.

¹⁸ Final Storage Tank(Ark)

¹⁹ Contamination Test

²⁰ Jiger & jully

²¹ Pug Roll



روانروی در حدود 270°C تا 290°C و تیکسوتروپی یک دقیقه 40°C تا 45°C و دانسیته $1/78\text{kg/cm}^3$ می تواند یک شرایط خوب برای دوغاب ریخته گری باشد. برای روانروی دوغاب از روانسازهایی نظیر آب شیشه (سیلیکات سدیم) و (Dispex N40) استفاده می شود. برای افزایش دانسیته دوغاب ضایعات ریخته گری و پرداخت به بلانجرها اضافه می شود.

بطور حتم نمی توان از ضایعات ریخته گری در فرمینگ و از ضایعات فرمینگ در ریخته گری استفاده نمود زیرا یکی دارای اسید است و دیگری روانساز اما ترجیح داده می شود که دوغاب ریخته گری در همزن نهایی با دانسیته $1/45$ گرم بر میلی لیتر یکبار فیلتر شده و سپس در بلانجر مجدد محلول و به دانسیته مناسب برسد و سپس روانسازی گردد.

2-4-2- شکل دهی

شکل دهی چینی استخوانی معمولاً به دو روش صورت می گیرد :

- شکل دهی به روش ریخته گری
- شکل دهی با استفاده از دستگاه فرمینگ

2-4-2-1 - شکل دهی به روش ریخته گری

در این روش قالب هائی از جنس گچ، توسط اپراتور با استفاده شیلنگ مجهز به شیر و یا ابزارهای خاصی مانند پارچ پر می شوند. پر کردن به صورتی انجام می شود که از ایجاد حباب های هوا در دوغاب اجتناب شود. در ریخته گری توخالی، دوغاب به طور کامل قالب را پر می کند. آب به خاطر قدرت جذب آب گچ از دوغاب جدا می شود پس از گذشت زمان مطلوب تشکیل لایه، ماده اضافی تخلیه می شود. در ریخته گری توپر، دوغاب قالب و مخازن تغذیه را پر می کند؛ با این حال، در این مورد، هیچ گونه تخلیه دوغاب اضافی انجام نمی شود و ضخامت قطعه توسط فضای خالی قالب تعیین می شود.

تشکیل ضخامت و مکانیزم های سخت شدن خمیر عمدتاً به دو عامل مهم بستگی دارد::

خصوصیات قالب، خصوصاً تخلخل و توزیع آن.

خصوصیات دوغاب (ترکیب، حالت روان‌سازی و دما).

تشکیل اولین لایه خمیر در اثر جداسازی آب از دوغاب توسط مویرگ های قالب گچی آب صورت می‌گیرد. از این پس، این لایه به مانند یک فیلتر عمل می‌کند و نفوذپذیری آن سرعت تشکیل لایه را مشخص می‌کند. به مرور زمان و به دلیل افزایش ضخامت لایه و اشباع بیشتر مویرگ ها، این سرعت کاهش می‌یابد. طی تشکیل لایه، یک لایه میان دوغاب مایع و خمیر تشکیل دهنده لایه ایجاد می‌شود که بر روی سرعت جذب آب تأثیر می‌گذارد. تأثیر پارامترهای مختلف بر روی ریخته‌گری در ادامه بررسی خواهد شد.

- قالب گچی

ظرفیت جذب آب گچ که یکی از عناصر کنترل کننده تشکیل لایه و سرعت سخت شدن آن است، با تست زیر تعیین می‌شود:

منشوری از گچ خشک بر روی یک لوله پر شده با آب قرار می‌گیرد، به طوری که انتهای آن با آب در تماس باشد. با اندازه گیری میزان بالا رفتن آب در نمونه بر حسب زمان، ضریب²² نفوذ به شکل زیر به دست می‌آید.

$$D_g = \frac{\text{میزان بالا رفتن cm}}{\sqrt{\text{ثانیه (زمان)}}$$

D_g قالب های ریخته‌گری معمولاً معادل با 2 تا 3 (cm^2/sec)

است. ضریب نفوذ گچ معمولاً تابعی از تخلخل و توزیع آن در قالب می‌باشد و به نوع گچ، نسبت گچ به آب و زمان هم زدن بستگی دارد.

- دوغاب²³

نفوذ پذیری لایه دوغاب که زمان تشکیل لایه و سخت شدن آن را کنترل می‌کند بستگی به نوع ذراتی که لایه را تشکیل می‌دهد دارد و شامل موارد زیر است:

روان‌سازی دوغاب

²² Diffusion coefficient

²³ Slip

ترکیب دوغاب (نوع رس، نرمی ذرات، پلاستیسیته)

توزیع دانه بندی

جرم حجمی (دانسیته)

انرژی انحلال دوغاب

دما

- وضعیت روانسازی

علاوه بر وضعیت بارهای الکتریکی موجود در ذرات کلونیدی، حالت روانسازی هم به شدت بر نوع فعل و انفعال میان ذرات رس و حرکت آن ها تأثیر می‌گذارد و تأثیر آن متوجه نفوذ پذیری گچ هم می‌شود. علاوه بر این، شرایط روانسازی، مقادیر ویسکوزیته و تیکسوتروپی²⁴ را تعیین می‌کند. افزایش در تیکسوتروپی با شرایط یکسان، باعث افزایش در سرعت تشکیل لایه و افزایش میزان آب در لایه تشکیل شده و گرادیان رطوبت در آن می‌گردد. تیکسوتروپی دوغاب را می‌توان با کاهش روانسازی به مقدار محدود افزایش داد و باعث افزایش سرعت تشکیل لایه گردید. فراتر از این حد، قطعات ریخته‌گری چنان مرطوب و بی ثبات می‌شوند که جداسازی آنها از قالب یا جابه جایی آن ها نا ممکن می‌شود. همچنین ممکن است به علت افزایش محتوای آب و گرادیان رطوبت بالا مشکلاتی جدی در هنگام خشک کردن در قطعه رخ بدهد. اگر بر عکس آن، تیکسوتروپی و ویسکوزیته خیلی پایین باشند، سرعت تشکیل لایه کاهش خواهد یافت. علاوه بر این، لایه ایجاد شده، نه خیلی مرطوب و نه انعطاف پذیر است و می‌تواند طی خشک شدن دچار ترک شود. از سوی دیگر، سرعت سخت شدن با افزایش تیکسوتروپی کاهش می‌یابد. جدول 1-8 تغییرات در نتایج ریخته‌گری در نتیجه بهبود روانسازی را نشان می‌دهد.

- ترکیب

ترکیب دوغاب بر روی تشکیل لایه و زمان سخت شدن خصوصاً از نقطه نظر مقدار و نوع ماده رس استفاده شده تأثیر می‌گذارد. معمولاً یک دوغاب دارای رس انعطاف پذیرتر²⁵ نسبت به

²⁴ Thixotropy

²⁵ Plasticity

دیگری که حاوی رس کمتر انعطاف پذیری است موجب نفوذ پذیری کمتر خمیر و افزایش زمان تشکیل لایه می‌شود. اما ارزیابی تاثیر رس فقط به خاطر پلاستیسیته، سطح ویژه، دانه بندی و مینرالوژی ذرات آن، نا درست خواهد بود.

جدول 8-1 - تاثیر حالت روان‌سازی بر روی ریخته‌گری

تاثیر بر روی ریخته‌گری	وضعیت روان‌سازی
تاثیر بر روی ریخته‌گری نمی‌گذارد	ویسکوزیته بسیار بالا
ایجاد لکه ریخته‌گری و تغییر شکل	ویسکوزیته بسیار پایین
<ul style="list-style-type: none"> • ریخته‌گری سریع • تخلیه کند یا ناقص • ریخته‌گری بسیار مرطوب و بی ثبات • زمان طولانی تر، سخت شدن طولانی تر • گرا دیان رطوبت بیشتر در لایه که خشک شدن را سخت می‌کند 	تیکسوتروپی بسیار بالا
<ul style="list-style-type: none"> • ریخته‌گری کند • تخلیه آسان اما به همراه چکه • قطعه به دست آمده سخت و بسیار انعطاف ناپذیر (خطر بروز ترک) • زمان سخت شدن بحرانی تر • خشک شدن سریع تر 	تیکسوتروپی بسیار پایین

- توزیع دانه بندی²⁶

دانه بندی ترکیب بدنه بر روی رفتار رئولوژیکی آن و در نتیجه سرعت ریخته‌گری تاثیر می‌گذارد. در نتیجه کاهش میزان ذرات کوچک تر از میکرون، ایجاد لایه به لحاظ زمانی تسریع می‌شود. همچنین دانه بندی تاثیر مشابهی بر زمان سخت شدن هم دارد. توزیع اندازه ذرات تا میزان زیادی ساختار بدنه ریخته‌گری شده و در نتیجه تخلخل خمیر و مقاومت مکانیکی آن را معین می‌کند. مواد درشت تر فضای خالی را افزایش می‌دهند و استحکام خام را کاهش می‌دهند.

- جرم حجمی²⁷

اول از همه، باید به خاطر داشت که کاهش در وزن ویژه معمولاً موجب کاهش تیکسوتروپی می‌شود. وزن ویژه دوغاب سرعت ریخته‌گری را براساس میزان تیکسوتروپی تغییر می‌دهد. علاوه بر این، وزن ویژه سرعت ریخته‌گری را بر اساس میزان روان ساز نیز تغییر می‌دهد. دوغاب دارای جزء جامد بیشتر، با افزایش روان‌ساز سرعت تشکیل لایه را تا میزان بسیار کمتری نسبت به دوغاب با جزء جامد کمتر کاهش می‌دهد.

- انرژی مورد نیاز برای انحلال انرژی منتقل شده به ماده طی ساخت به هنگام انحلال شدیداً رفتار رئولوژی رس ها و کائولین ها و در نتیجه زمان ریخته‌گری را تغییر می‌دهد.

- دما

دمای دوغاب به طور کلی دو تأثیر عمده دارد:

الف) ویسکوزیته حلال²⁸ (آب) و در نتیجه ویسکوزیته دوغاب را کاهش می‌دهد.

ب) تیکسوتروپی را در مورد دوغاب روان‌سازی نشده افزایش می‌دهد و برای دوغاب بیش از حد روان‌سازی شده کاهش می‌دهد.

تأثیری که افزایش دمای دوغاب بر روی ریخته‌گری دارد را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

اگر دوغاب زیر نقطه روان‌سازی باشد، سرعت تشکیل لایه تا میزان زیادی افزایش می‌یابد و زمان ریخته‌گری کاهش می‌یابد. در شرایط یکسان، رطوبت قطعه ریخته‌گری پایین تر و استحکام مکانیکی در دماهای بالاتر بیشتر است.

در مورد دوغابی که از نقطه بهینه روان‌سازی رد شده است این افزایش در سرعت ریخته‌گری کاملاً کاهش می‌یابد و گاهی نا چیز می‌باشد.

2-2-4-2 - شکل دهی به روش فرمینگ

²⁷ Specific weight

²⁸ Dispersion agent

در شکل دهی به روش فرمینگ کالباس تهیه شده توسط دستگاه فرمینگ (جیگر و جولی) با استفاده از قالبهای نروماده نصب شده بر روی رولر و هد شکل دهی می گردد. (شکل 1-1).

تغییر میزان نفوذ پذیری در قالب گچی نیز گاهاً موجب ایراداتی در هنگام فرمینگ قطعات روی رولر هد می شود که به آن (stretch face) می گویند بهترین میزان نفوذ پذیری در قالب ها مطابق جدول زیر است :

نفوذ پذیری آب cm ² /sec.cm	بدنه
1/8 تا 2/2	ارتن ور
1/8 تا 2/2	استون ور
1/8 تا 2/2	پرسلان
2/8 تا 3/3	بن چاینا
2/8 تا 3/3	فاین بن چاینا

در هنگام خشک شدن قالب نمکهای محلول بر روی سطح قالب تجمع می نمایند. این نمکها ، نمکهای موجود در گچ و یا نمک های تولید شده در حین رشد کریستالی گچ می باشند. این نمکها باعث می شوند که مناطقی از قالب غیر قابل نفوذ گردد و باعث چسبندگی و بر میل عدم انقباض در حالت چه مینگی گردد. برای حذف این اثر باید سطح قالب در هنگام خشک شدن پوشیده شود تا هوا فقط به سطح خارجی قطعه برخورد نماید و خشک شدن در جهت سطح بیرونی قطعه انجام شود. برای قطعات تخت این مسئله کمی پیچیده تر است و باید روکش لاستیکی بصورت خمره ای تهیه شود که علاوه بر سطح بیرونی لبه های بیرونی قطعه را مطابق شکل پوشاند و خشک شدن فقط از سطح پوشانده نشده انجام می گردد بنابراین این مدت خشک شدن کمی افزایش می یابد یعنی در حدود 4 تا 5 روز برای قالب های بزرگ دمایی خشک کن برای جلوگیری از ری کلسینه¹ شدن گچ باید در حدود 40 تا 45 نکه داشته شود.

فرایند پخت

در فرایند پخت چینی استخوانی، خاکستر استخوان رفتار پیچیده ای دارد. کربنات کلسیم با فلدسپار واکنش داده

و آنورتیت (فلدسپار کلسیم) ایجاد می کنند در حالی که فسفات شیشه تولید کرده و مقدار بالایی بلورهای بتا کلسیم فسفات $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ باقی میگذارد. بن چینی معمول دارای 70 درصد بلورفسفات و سیلیکات و 30% فاز مذاب می باشد. حضور بتاتری کلسیم فسفات در زینترینگ مشکل زا بوده زیرا دارای ضریب انبساط حرارتی بالایی می باشد. بتاتری کلسیم فسفات در اثر وجود ارتوفسفات در هیدروکسی آپاتیت تولید می گردد بنابراین حداکثر ارتوفسفات مجاز در هیدروکسی آپاتیت 5% می باشد. از طرف دیگر نوع و دمای کلسینه شدن خاکستراستخوان نیز در کیفیت محصول خروجی موثر است. هرچه زمان کلسینه شدن بیشتر باشد ذرات و بلورهای بزرگتری ایجاد می شود. مثلاً در یکی از روشهای مطلوب با سرعت 200 درجه در ساعت تا 1050 درجه سانتیگراد (حد مطلوب 1150 تا 1200 می باشد) حرارت داده شده و سپس در این حرارت یک ساعت نگهداشته می شود. سوراخهای و منافذ باز در حرارت 1240 درجه سانتیگراد به صفر میرسد درحالیکه سوراخهای بسته در این دما ثابت باقی می ماند و باعث کاهش دانسیته چینی می گردد. محدوده پخت به محدوده ای تلقی می گردد که دانسیته بالک چینی حداکثر حدود 0/5 گرم برسانتیمترمکعب تغییر کند و هرچه این محدوده بزرگتر باشد بهتر است عمل کلسینه کردن مناسب این محدوده را تا 30 درجه افزایش میدهد.

1-recalcine (burn)