

# КОКИЛЬ.

## Проектирование, изготовление, эксплуатация и ремонт.

### *План исследования:*

- 1.) Состояние вопроса.
- 2.) Анализ химического состава.
- 3.) Анализ макроструктуры.
- 4.) Оценка химической неоднородности.
- 5.) Анализ микроструктуры.
- 6.) Оценка механических свойств.
- 7.) Выводы.
- 8.) Рекомендации.
- 8.1.) Проектирование конструкции кокиля. Литниковая система отливки.
- 8.2.) Подбор материалов для изготовления кокилей.
- 8.3.) Кристаллографическая микроструктура кокиля.
- 8.4.) Производство сплавов для отливки кокилей.
- 8.5.) Изготовление формы и отливка заготовки для кокиля.
- 8.6.) Механическая обработка кокилей на станках с ЧПУ.
- 8.7.) Эксплуатация кокилей.
- 8.8.) Обслуживание и ремонт кокиля.

### ---1.) Состояние вопроса.

Основными причинами выхода из строя кокиля являются сложные термохимические процессы, вызываемые неравномерными циклическими нагревами и охлаждениями его рабочих стенок во всех трех измерениях (по длине, ширине и толщине). Это приводит к появлению неоднородного, изменяющегося с перепадами температуры поля внутренних напряжений в стенке кокиля, вызывающего его упругие и пластические деформации, что в свою очередь провоцирует изменение формы и геометрических размеров рабочего пространства кокиля. В поверхностном слое кокиля нереализованная внутренняя термическая деформация обычно в 2 раза превосходит деформацию, соответствующую пределу текучести материала при заданной температуре. Поэтому в каждом цикле нагружения кокиля (заливка – выбивка отливки) внутренняя деформация растяжения, сменяется деформацией сжатия, что приводит к термической усталости в структуре материала кокиля. Термические напряжения возникают также вследствие внутренних структурных превращений: окисления границ кристаллов, роста зерна, укрупнения и разрастания графитовых включений (графитизации) – протекающих тем интенсивнее, чем выше температура разогрева кокиля. Сетка разгара на рабочей поверхности кокиля проявляется в виде густо расположенных и различно ориентированных трещин, которые распространяются по границам углеродсодержащих эвтектик.

Способность кокиля выдерживать термические напряжения не разрушаясь, зависит от механических свойств материала, из которого он изготовлен, точнее от степени изменения свойств, при нагреве кокиля до рабочих температур. Уровень возникающих в кокиле напряжений зависит также и от конструкции самого кокиля – толщины стенок, конструкции ребер жесткости, литниковой системы отливки и т.д. Например, слишком тонкие и высокие ребра жесткости приводят к появлению трещин на рабочей поверхности кокиля, а низкие и широкие ребра могут не обеспечивать жесткость кокиля и привести к его короблению.

Стойкость кокилей обеспечивается конструктивными, технологическими и эксплуатационными методами.

Конструктивные методы основаны на правильном выборе материалов для кокилей в зависимости от преобладающего вида разрушения, разработки рациональной конструкции кокиля и литниковой системы. Термические напряжения, приводящие к снижению стойкости кокиля, являются следствием нереализованных внутренних термических деформаций: менее нагреваемые части кокиля (около наружной поверхности) препятствуют расширению более нагреваемых слоев (контактирующих с отливкой). Уменьшить напряжения возможно, если термическая деформация более нагреваемой части происходит беспрепятственно. Этого можно достичь, если расчленить рабочую стенку кокиля на отдельные составные части. Тогда вследствие зазоров между элементами кокиля, каждый из них при нагреве будет расширяться свободно. Чем проще конструкция, равномернее толщина стенок, меньшее количество толкателей (стержней), плавнее радиусы скруглений (галтелей) – тем выше стойкость кокиля.

Технологические методы обычно направлены на повышение стойкости поверхностного слоя рабочей полости кокиля, имеющего наибольший градиент перепада температур. Для этого используется армирование, поверхностное легирование, окраска рабочей поверхности огнеупорными керамическими композитами, рациональное размещение литниковой системы и ребер жесткости (или ребер охлаждения). Наиболее интенсивно разрушается та часть рабочей поверхности кокиля, о которую ударяется струя заливаемого расплава. Вследствие этого, литниковую систему нужно выполнить так, чтобы заливаемый расплав не бил перпендикулярно в стенку или в металлический стержень кокиля. Необходимо стремиться подводить расплав спокойно, с минимальным динамическим напором. Ламинарное (упорядоченное) течение расплава в полости кокиля не только увеличивает его стойкость, но и является необходимым условием получения качественных отливок без газовых раковин, пористости и трещин.

Эксплуатационные способы повышения стойкости кокилей основаны на строгой регламентации температурного режима работы кокиля, зависящего от температуры кокиля перед заливкой, от температуры разливаемого металла, от состава, от свойств и от состояния огнеупорного покрытия на его рабочей поверхности, а также от темпа (частоты заливок) работы кокиля. Стойкость кокиля также может быть повышена надлежащим уходом за ним при эксплуатации, это обеспечивается грамотно сбалансированной системой планово-предупредительных ремонтов (ППР).

В металлведческую лабораторию «Волгоградского Металлургического Завода «Красный Октябрь» на исследование поступили два образца от стального кокиля после его выхода из эксплуатации.

Цель исследования – определить причины преждевременного выхода из строя кокиля, а также выдать рекомендации для продления срока службы кокилей.

**---2.) Анализ химического состава.**

Подготовка исследуемых образцов производилась согласно ГОСТ 7566-94 «Метод отбора проб для определения химического состава и проведения механических испытаний».

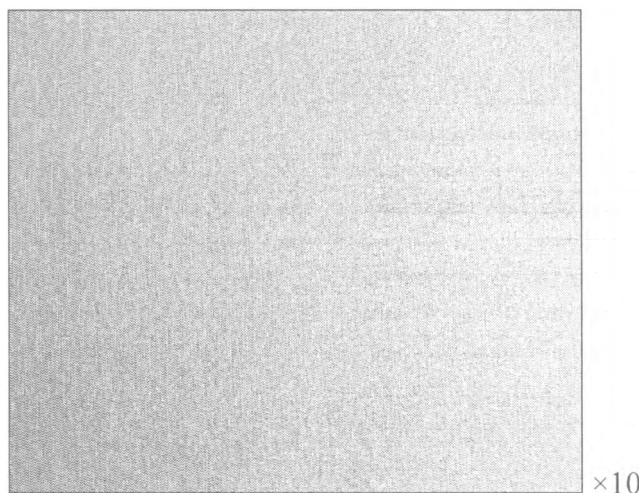
Анализ химического состава по ГОСТ 5950-2000 показал, что образцы представляют собой сталь 5ХНМ:

	Содержание химических элементов, %									
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu	Fe
Образец	0,54	0,23	0,67	1,47	0,024	0,018	0,53	0,22	0,28	---
5ХНМ	0,50...0,60	0,10...0,40	0,50...0,80	1,40...1,80	≤ 0,030	≤ 0,030	0,50...0,80	0,15...0,30	≤ 0,30	остальное

**---3.) Анализ макроструктуры.**

Исследование производилось согласно ГОСТ 10243-2000 «Сталь. Методы испытаний и оценка макроструктуры».

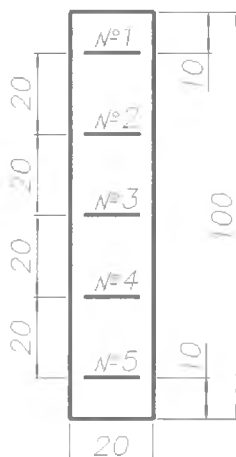
Макротемплет имеет равномерную структуру, без литейных или усадочных дефектов. Наличие инородных тел, газовых раковин, неравномерности зернового состава, грубых неметаллических включений или прокатной окалины – не наблюдается. Недопустимые по условиям поставки металла дефекты макроструктуры (расслоения, шлаковые включения и флокены) – не обнаружены.



**---4.) Оценка химической неоднородности.**

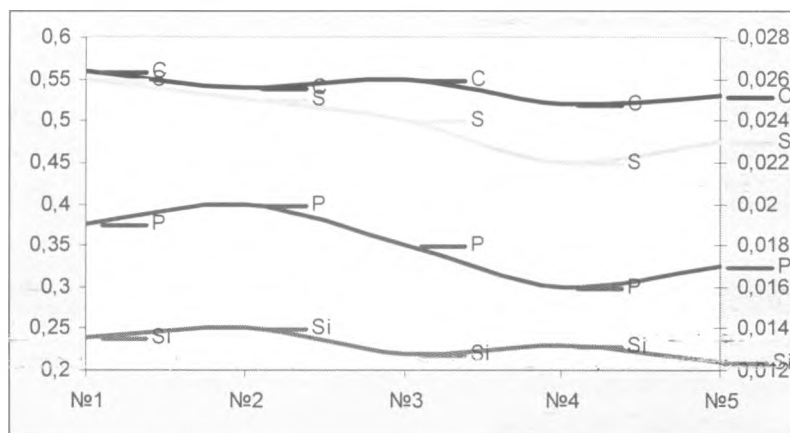
Для изучения химической неоднородности был вырезан продольный темплет размером 100×20 мм. Исследование производилось отбором 5-ти проб металла из различных горизонтов темплета на предмет наличия ликвации химических элементов C, Si, S и P.

Схема отбора проб:



Неоднородность по химическому составу темплета составила:

№ образца	Содержание ликвирующих элементов, %			
	C	Si	S	P
1.	0.56	0.24	0.026	0.019
2.	0.54	0.25	0.025	0.020
3.	0.55	0.22	0.024	0.018
4.	0.52	0.23	0.022	0.016
5.	0.53	0.21	0.023	0.017

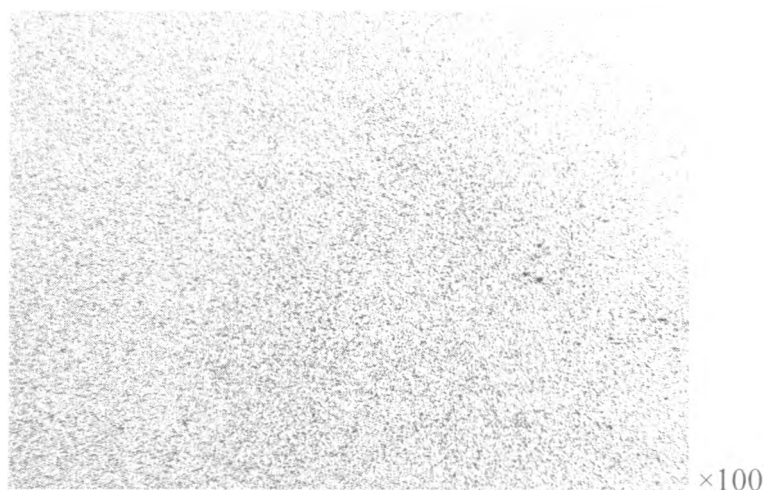


Анализ неоднородности показал, что содержание сильно ликвирующих химических элементов уменьшается ближе к нижнему горизонту образца, следовательно – кристаллизация слитка в изложнице из которого был изготовлен прокат (или поковка) а затем и кокиль – шла снизу вверх, вытесняя более легкоплавкие эвтектики в прибыль слитка, а значит заготовка для исследуемого кокиля была взята из зоны проката или поковки, которая находилась слишком близко к прибыльной части слитка.

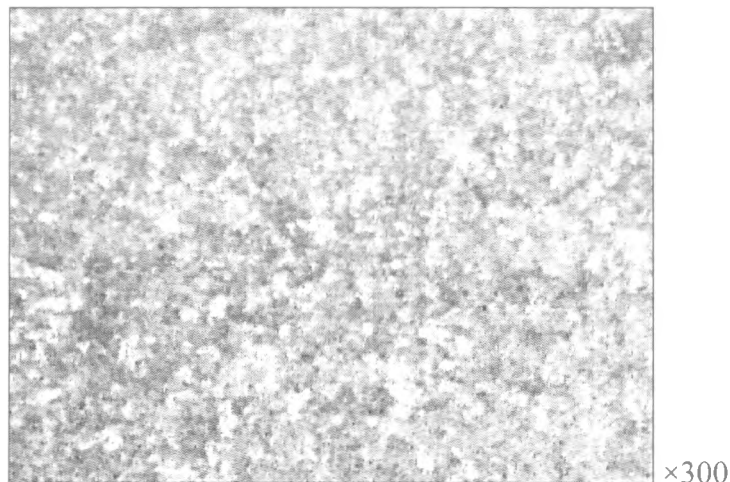
### ---5.) Анализ микроструктуры.

Анализ микроструктуры произведен в соответствии с ГОСТ Р 54570-2011 «Сталь. Методы оценки степени полосчатости или ориентации микроструктур».

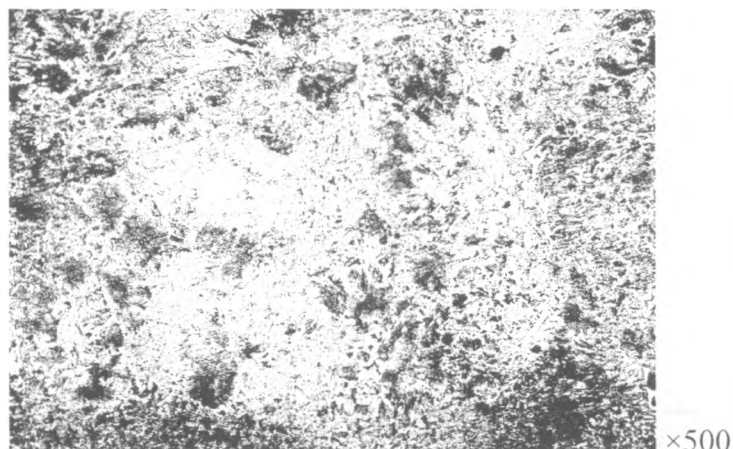
При 100 кратном увеличении шлифованного образца под микроскопом, стали заметными точечные неоднородности. Металл имеет типичную мелкозернистую структуру, которая сформировалась из-за интенсивного охлаждения слитка в изложнице и последующей обработки его давлением (прокатки иликовки). Ярко выражены структурные изменения вследствие наклепа (нагортовки) – вызвавшие измельчение зерна. Изменения структуры вызванные рекристаллизацией при таком увеличении – просматриваются слабо.



При 300 кратном увеличении шлифованного образца, проявилась структура металла, состоящая из хаотично ориентированных в пространстве зёрен (кристаллов). Неоднородности по фазовому составу на границах фаз, сопровождающиеся строчками сульфидных включений – стали проявляться более отчётливо.



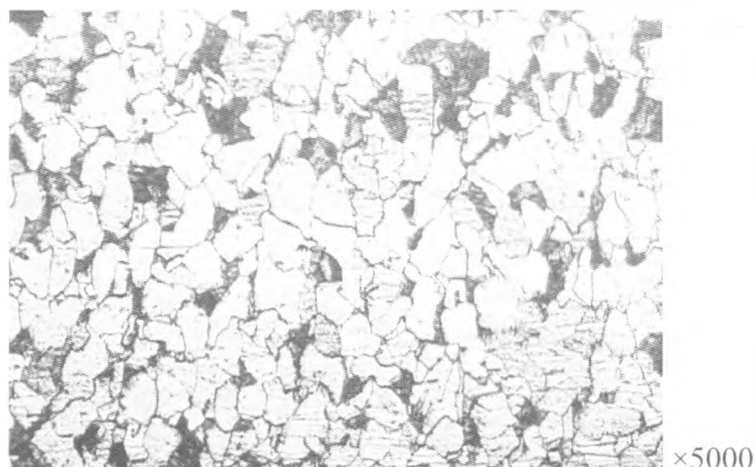
При микроисследовании шлифов под 500 кратным увеличением, выявлены зёрна I и более I балла (шкала I ГОСТ 5639). Микроструктура исследуемого металла представляет собой зернистый перлит, феррит расположен по границам бывших аустенитных зерен в виде несплошной сетки, признаки фазовой перекристаллизации на несправленном образце – не просматриваются.



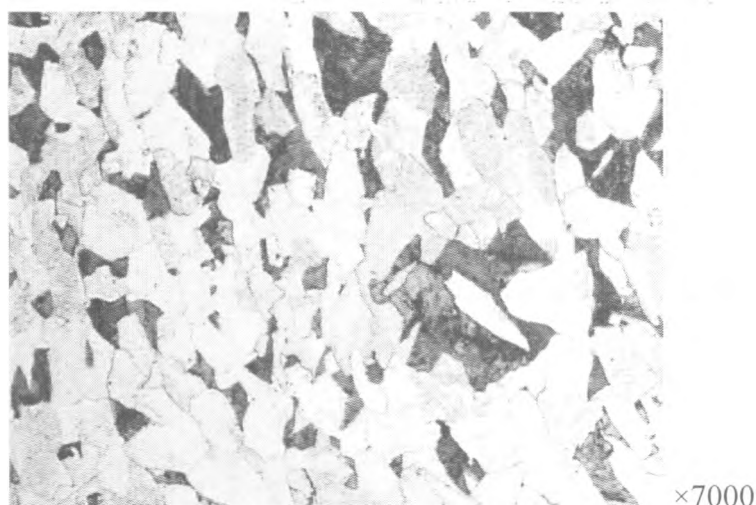
После травления микрошлифа в спиртовом растворе азотной и пикриновой кислоты, структура при 1000 кратном увеличении под микроскопом, показала, что металл имеет характерные признаки фазовой перекристаллизации, что является следствием выпадения углерода из связанных химических соединений внутри эвтектик (карбидов) - в свободное состояние (чистый C).



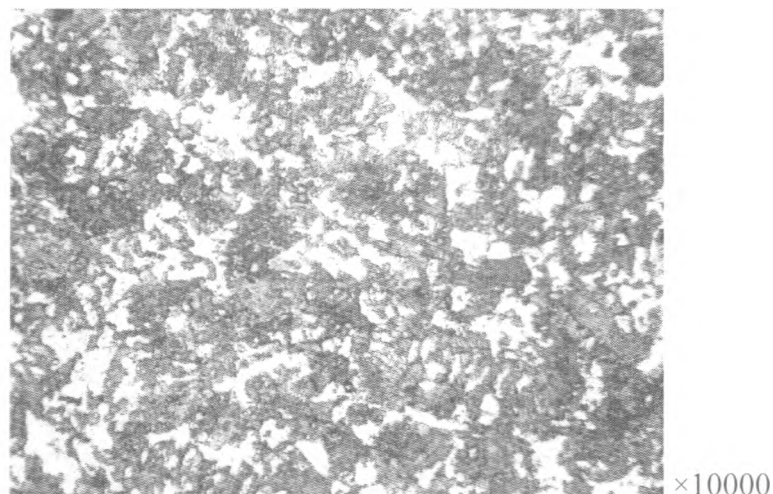
При 5000 кратном увеличении стало заметно, что микроструктура металлической матрицы состоит из перлита и феррита. Зоны кристаллов вокруг графитовых зерен обезуглерожены. Отчетливо наблюдается изолирование графита структурными составляющими металлической матрицы, сопровождающееся диффузионным окислением.



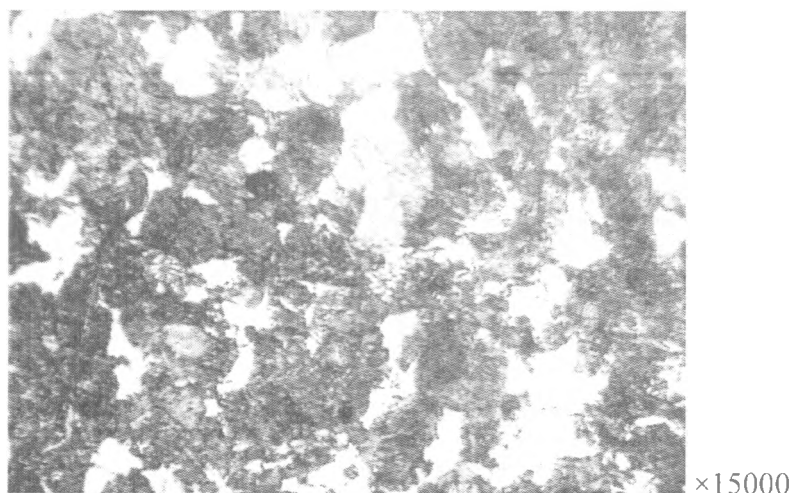
При 7000 кратном увеличении, по границам графитовых зерен стали отчетливо наблюдаться неметаллические включения – силикаты сложного состава.



При микроисследовании графитовых зёрен (10000 кратном увеличении), внутри них обнаружены рассредоточенные строчки неметаллических включений: оксидов – 3,0 балла, силикатов хрупких – 2,5 балла, сульфидов – 2,5 балла и силикатов недеформирующихся – 3,0 балла по шкалам ГОСТ 1778. Строчки оксидов и хрупких силикатов имеют протяженность 0,25...0,40 мкм.



При 15000 кратном увеличении, стало заметно, что микроструктура графитовых включений состоит из чистого углерода и феррито-карбидной смеси (высокохромистого феррита, а также карбидов типа  $Cr_{23}C_6$ ).



#### ---6.) Оценка механических свойств.

Для исследования механических свойств металла были подготовлены образцы в соответствии с ГОСТ 7564-97 «Прокат. Общие правила отбора проб и образцов для механических и технологических испытаний».

Проведены испытания металла отработавшего кокиля на определение: условного предела текучести, предела прочности, пределов пластичности (относительного удлинения и относительного сужения образца при разрыве), ударной вязкости и твёрдости – которые показали в сравнении с нормативными параметрами (до эксплуатации кокиля), следующие значения:

Наименование параметра	Обозначение, единицы измерения	Значение параметра		ОТКЛОНЕНИЯ	
		Образец	Норматив по ГОСТ 5950-2000	ед.	%
Условный предел текучести	$\sigma_{0,2}$ , МПа	1395	1420	-25	-1,8
Предел прочности	$\sigma_b$ , МПа	1540	1570	-30	-1,9
Относительное удлинение	$\delta_5$ , %	7,5	9	-1,5	-16,7
Относительное сужение	$\psi$ , %	28	35	-7	-20,0
Модуль упругости	$E$ , $\times 10^6$ кг/см <sup>2</sup>	2,35	2,27	+0,08	+3,5
Ударная вязкость	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	36	34	+2	+5,9
Твёрдость	НВ, ед.	435	375...429 (402)	+33	+8,2

По результатам механических испытаний зафиксировано уменьшение прочности, снижение пластических характеристик металла, снижение упругости (увеличение модуля упругости), увеличение хрупкости (рост ударной вязкости) и повышение твёрдости по сравнению с металлом в состоянии поставки.

#### ---7.) Выводы.

Марка стали, из которой был изготовлен кокиль, соответствует 5ХНМ. Содержания всех хим. элементов находятся в пределах, регламентированных нормативной документацией.

Анализ макроструктуры шлифованного темплета не выявил отклонений от требований к качеству металла. Наличие грубых дефектов сталеплавильного происхождения и от нарушения технологии разлива стали – не зафиксировано.

Оценка химической неоднородности металла показала, что в исследуемом образце присутствует ликвация химических элементов, которая характерна при разливе стали в изложницы и которая напрямую связана с процессами кристаллизации слитка. Ликвация зарождается и развивается на границе твердой и жидкой фаз слитка. По мере сближения фронтов затвердевания от стенок

изложницы к оси слитка. скорость усадочного перемещения ликватов возрастает. Поток движущегося жидкого металла увлекает за собой скопления ликватов, экстрагируя их из межосных пространств растущих дендритов кристаллов.

Ликвация крайне опасна, потому что кроме неоднородности по химическому составу, а следовательно и неравномерности по механическим свойствам металлической матрицы (анизотропии), также присутствует и неоднородность по содержанию микродефектов в металле (микроскопических газовых раковин или неметаллических включений), которые в значительной степени ослабляют прочностные характеристики металла в различных направлениях, внося дисбаланс в картину внутренних напряжений, что вызывает неравномерность износа готовых деталей (в данном случае кокиля) при эксплуатации.

Анализ микроструктуры металла показал, что присутствуют также неоднородности и внутри самих составляющих металлических фаз.

Зафиксированы строчки сульфидных включений, которые явились результатом процессов окисления серы, а затем дальнейшего раскисления сплава известью при классическом сталеплавильном процессе.

По причине частых теплосмен работы кокиля, внутри металлической матрицы обнаружены структурные изменения, которые явились результатом фазовой перекристаллизации. Кристаллы аустенита вследствие периодических нагревов сначала интенсивно растут, увеличиваясь в размерах и создавая новые внутренние напряжения, а затем, начиная с краёв, распадаются на также зернистые перлит, феррит и графит. Новые зёрна элементов металлической матрицы имеют свои оболочки, состоящие из зон: диффузионного окисления, обезуглероживания (образования низкоуглеродистого феррита, вследствие выпадения графита в отдельные, постоянно растущие кристаллы), перераспределения – с последующей локальной концентрацией по границам зёрен оксидов, сульфидов, хромитов, хрупких и недеформируемых силикатов сложного состава.

Процессы фазовой перекристаллизации рожают новые внутренние напряжения, концентраты которых располагаются в основном по границам постоянно растущих от нагревов зёрен. Образовавшиеся вновь структурные фазы – новые составляющие металлической матрицы, имеют каждая свой удельный объём, который в значительной степени отличается от удельного объёма первоначальной металлической матрицы (см. таблицу). Вследствие этого, в поверхностном слое зерна возникают растягивающие напряжения, а в середине сечения зерна – сжимающие напряжения.

ФАЗА	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельный объём, см <sup>3</sup> /г
Феррит	7864	0,1271
Цементит	7670	0,1304
Аустенит	7843	0,1275
Перлит	7778	0,1286
Мартенсит	7633	0,1310
Графит	2250	0,445

Рано или поздно, внутренние напряжения, особенно если их градиент постоянно увеличивается, вызывают деформации металлической матрицы, сначала – упругие, а впоследствии – пластические, остаточные. В итоге это приводит сначала к короблению, а затем к трещинам и разрушению детали (в данном случае кокиля).

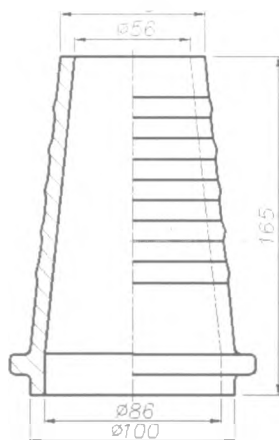
Вследствие изменения фазового состава металлической матрицы, также изменились и механические свойства материала. На исследуемом образце, отобранном после забраковки кокиля, зафиксировано уменьшение пластичности, снижение упругости, увеличение хрупкости и рост твёрдости по сравнению с характеристиками металла до эксплуатации кокиля (в состоянии поставки). Что также сыграло немаловажную роль при разрушении кокиля и преждевременного выхода его из работы.

## ---8.) Рекомендации.

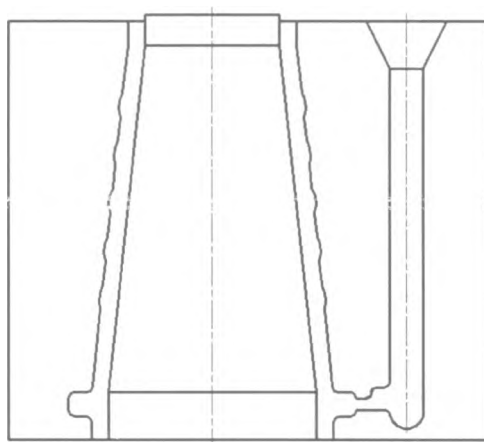
### ---8.1.) Проектирование конструкции кокиля. Литниковая система отливки.

Рассмотрим проектирование кокиля и литниковой системы отливки на примере изготовления детали «патрубок». Готовая деталь после её отливки из алюминиевых сплавов и механической обработки должна выглядеть так:





Классическая литниковая система кокиля для отливки «патрубка», состоящая из: литниковой чаши, стояка, зумпфа, питателя и шлакоуловителя – должна выглядеть так:



В целях продления срока службы кокиля, а также для возможности при изнашивании его внутренней полости, которая формирует отливку, производить ремонт путём механической обработки всех рабочих поверхностей – рекомендуется изготовить кокиль из двух половинок с вертикальной плоскостью разъёма формы и цилиндрическим стержнем с гидравлическим толкателем. Для жёсткого центрирования половинок, необходимо предусмотреть в конструкции направляющие по системе «шип – паз».



Для избегания случаев перегрева кокиля, при высокой интенсивности заливок, рекомендуется увеличить площадь его наружной поверхности путём внедрения специальных карманов. Строго по центру кокиля целесообразно оставить круглую площадку для упора в неё винтов – толкателей, которые будут сопрягать форму из двух половинок, зажимая её и обеспечивая герметичность.

### ---8.2.) Подбор материалов для изготовления кокилей.

Выбор материала для изготовления кокиля зависит целиком и полностью от температуры заливаемого в него расплава.

Заготовка для кокиля обязательно должна быть получена способом фасонного литья, чтобы избежать образования внутренних напряжений, возникающих при обработке металла давлением (прокатке или ковке). Литой металл имеет более сбалансированную структуру зерна (кристаллов), потому что при ковке или при прокатке происходят параллельно сразу два процесса: наклёп и рекристаллизация. То есть зёрно металла одновременно и ломается, и растёт – что очень отрицательно сказывается на сбалансированности внутренних напряжений. Данное явление особенно заметно на катанном металле. Кристаллы ломаются и вытягиваются вдоль направления прокатки, но параллельно, вследствие влияния высоких температур, они ещё и растут. А расти им мешает жёстко регламентированный калибр (межвалковое пространство) прокатного стана. Вследствие этого зарождаются и развиваются внутренние напряжения, которые при достижении определённого уровня – провоцируют деформации или разрушение, особенно при наличии концентраторов, каковыми являются микроскопические дефекты металлической матрицы (газовые или шлаковые раковины).

Также, на литом металле в значительно меньшей степени выражены явления ликвации, вследствие быстрой кристаллизации по сравнению со слитком в изложнице, поэтому металл кокиля должен иметь как можно меньшее количество легирующих элементов. Это связано с тем, что каждый металл, растворённый в другом металле, образует свои, отличные от металла матрицы фазы или кристаллы. А как известно, основными концентраторами напряжений являются неоднородности, которые чаще всего располагаются по границам зёрен. Так что чем проще, однороднее, равновеснее и сбалансированнее внутренняя структура металла, тем меньше возникнет напряжений и тем дольше прослужит кокиль.

В связи с невысокой температурой разливки сплавов на основе алюминия (680...720 °С), кокиль целесообразно изготовить из стали 10Л...15Л по ГОСТ 977-88 «Отливки стальные. Общие технические условия». Она содержит наименьшее количество вредных примесей (S, P) и легирующих элементов, недорого стоит, имеет сбалансированную и равновесную структуру кристаллов, составляющих металлическую матрицу. Вследствие этого, слабо выражаются явления фазовой перекристаллизации, которые и провоцируют зарождение и развитие напряжений, приводящих к разрушению кокиля.

Для изготовления отливок из сплавов с температурой плавления выше 1000 °С (сталь, чугун, бронза, латунь и т.д.), кокиль конечно же следует изготавливать из чугуна. Чугун имеет низкую пластичность при повышенных температурах, что не вызывает таких сильных короблений и деформаций кокиля, надолго сохраняя заданные геометрические размеры рабочих полостей, а следовательно и отливок. В данной области широко распространены серые чугуны, с включениями графита, имеющими пластинчатую (ланцетовидную) форму – очевидно вследствие их дешевизны. Но острые края графитовых зёрен, в очень значительной степени аккумулируют у себя внутренние напряжения, которые и вызывают появление трещин. Поэтому для изготовления чугунных высокотемпературных кокилей, целесообразно применять округлую форму графитовых включений (вермикулярную или шаровидную). Потому что на гладких, без острых краёв поверхностях кристаллов графита, напряжения зарождаются в значительно меньшей степени, чем на кристаллах с острыми краями пластинчатой формы. Поэтому такие чугуны называют высокопрочными.

Но чугуны с вермикулярной или шаровидной формой графита имеют неудовлетворительную жаропрочность. То есть плохо выдерживают стабильность геометрических размеров при высоких температурах эксплуатации (ввиду их повышенной пластичности). Однако существуют специальные жаропрочные чугуны, характеристики по ГОСТ 7769-82 «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами», которые отличаются от обычных серых чугунов только тем, что имеют в своём химическом составе содержится 1 % или более – хрома. Но опять же, форма графитовых включений у них – пластинчатая. Поэтому для изготовления высокотемпературных кокилей целесообразно выплавить такой чугун, который будет совмещать в себе все полезные стороны как высокопрочных, так и жаропрочных чугунов, сведя к минимуму – отрицательные качества.

Достигнуть таких результатов можно, если при выплавке высокопрочного чугуна добавить в качестве легирующих элементов такие, которые обеспечат жаропрочность.

Химический состав высокопрочного чугуна марки ЧВГ 35 по ГОСТ 28394-89 «Чугун с вермикулярным графитом для отливок»:

Содержание химических элементов, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	РЗМ (мишметалл)
3,5...3,8	2,2...2,8	0,2...0,6	до 0,08	до 0,025	до 0,15	0,02...0,028	0,10...0,20

Химический состав износостойкого и жаростойкого чугуна марки ЧХ 3 по ГОСТ 7769-82 «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами»:

Содержание химических элементов, %					
C	Si	Mn	P	S	Cr
3,0...3,8	2,8...3,8	до 1,0	до 0,3	до 0,12	2,01...3,0

Очевидно, что высокую прочность чугунам придают содержащиеся в химическом составе магний и смесь редкоземельных металлов, а износостойкость и жаростойкость – повышенные содержания хрома и марганца. В связи с этим, для изготовления высокотемпературных кокилей целесообразно выплавить чугун следующего (комбинированного) химического состава:

Содержание химических элементов, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	РЗМ (мишметалл)
3,5...3,8	2,8...3,0	0,6...0,8	до 0,05	до 0,02	2,01...3,0	0,02...0,028	0,10...0,20

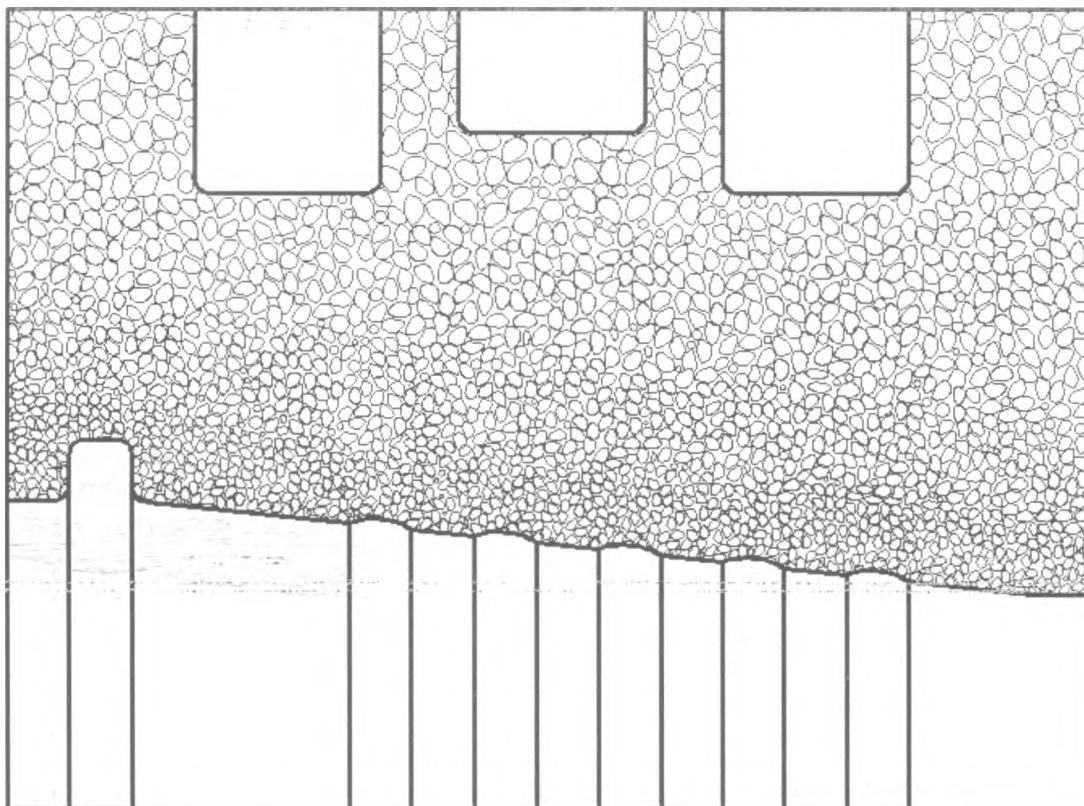
### ---8.3.) Кристаллографическая микроструктура кокиля.

Залогом долгой и безупречной работы кокиля, является однородная и мелкозернистая структура строения кристаллов. Строение металлической матрицы должно быть без грубых дефектов (шлаковых или газовых раковин) и с как можно меньшим количеством составляющих её фаз, чтобы избежать развития явления фазовой перекристаллизации.

Крупные зёрна (кристаллы) менее стабильны и равновесны. имеют большую площадь оболочек с содержащимися в них зародышами напряжений. Поэтому заготовка для кокиля (особенно в районах, контактирующих с отливкой) должна иметь мелкозернистую структуру. Основным производственно – технологическим фактором, влияющим на рост кристаллов (рекристаллизацию), является длительное воздействие температур после затвердевания отливки. Но если отливку рано извлечь из полости формы, тогда никак не удаётся избежать термических напряжений, которые отрицательно сказываются при эксплуатации отливки. Снять термические напряжения можно при помощи отжига, который опять же создаст дополнительные предпосылки для роста зерна.

Для получения мелкозернистой и одновременно уравновешенной по напряжениям структуры высокопрочного чугуна, в мировой практике применяется технология литья на холодильник. В связи с резким отводом тепла от наиболее ответственных районов отливки, структура в них получается белой (зеркальный чугун, у которого графит содержится не в свободном виде, а в качестве химического соединения Fe<sub>3</sub>C). Затем, при помощи графитизирующего отжига, соединение Fe<sub>3</sub>C распадается с выделением графита в самостоятельную фазу округлой (вермикулярной или шаровидной) формы. При таком виде отжига, параллельно с графитизацией, происходит и явление релаксации термических напряжений, что положительно сказывается на свойствах небольших и компактных – вновь образованных кристаллов.

В идеале, структура зернового состава для заготовки кокиля должна выглядеть следующим образом. Конечно же, фактические размеры кристаллов будут в миллионы раз меньше, чем показано на схеме, но пропорциональность их размеров должна соблюдаться именно в таком масштабе:



#### ---8.4.) Производство сплавов для изготовления кокилей.

---8.4.1.) Для отливки заготовки кокиля под разливку алюминиевых сплавов, оптимальной является сталь 10Л...15Л по ГОСТ 977-88 «Отливки стальные. Общие технические условия». Химический состав получаемого сплава должен быть смещён в сторону уменьшения содержания легирующих элементов и находиться в пределах:

Содержание химических элементов, %				
С	Si	Mn	S	P
0,12...0,16	0,20...0,30	0,30...0,45	до 0,06	до 0,06

Плавку вести в индукционной тигельной печи с кислой футеровкой.

В качестве шихтовых материалов использовать стальной лом – отходы Ст.3сп по ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества».

Стальной лом должен быть чистым, без ржавчины, без окалины, без примесей воды или масла, с размерами кусков до 100 мм.

Добавки по ходу плавки ферросилиция, ферромарганца, науглероживателей, добавочных, заправочных или шлакообразующих материалов – не производить.

Расплавить металл и довести температуру до 1610...1630 °С. Скатать шлак из печи начисто. Слить металл в ковш. Дать расплаву отстояться в ковше в течение 10...15 минут. Скатать шлак с зеркала металла в ковше начисто. Разливку производить при температуре 1550...1570 °С.

---8.4.2.) Для отливки заготовки кокиля под разливку высокотемпературных сплавов (сталь, чугун, бронза, латунь и т.д.), сварить синтетический высокопрочный, износостойкий и жаростойкий чугун, следующего химического состава:

Содержание химических элементов, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	РЗМ (миниметалл)
3,5...3,8	2,8...3,0	0,6...0,8	до 0,05	до 0,02	2,01...3,0	0,02...0,028	0,10...0,20

Плавку вести в индукционной тигельной печи с кислой футеровкой.

В качестве шихтовых материалов использовать:

- Стальной лом – отходы Ст.Зсп по ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества».
- Углеродсодержащий материал – лом графитовых электродов по ГОСТ 4426-80 «Электроды и ниппели графитированные. Технические условия».
- Ферросилиций ФС65 по ГОСТ 1415-93 «Ферросилиций. Технические требования и условия поставки».
- Ферромарганец ФМн70 по ГОСТ 4755-91 «Ферромарганец. Технические требования и условия поставки».
- Феррохром ФХ650А по ГОСТ 4757-91 «Феррохром. Технические требования и условия поставки».
- Сфероидизирующий модификатор ФСМг7 по ТУ 14-5-14-134-86.

Расчёт количества шихтовых материалов:

МАТЕРИАЛ	Содержание химических элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Mg	Al	Ca	РЗМ	S	P
Сталь Зсп	0,180	0,100	0,450	---	---	---	---	---	0,005	0,040
доля 0,85	0,153	0,085	0,383	---	---	---	---	---	0,004	0,034
УСМ	99,980	---	---	---	---	---	---	---	0,020	---
доля 0,0565	5,649	---	---	---	---	---	---	---	0,001	---
ФС65	0,100	65,00	0,300	0,300	---	2,000	---	---	0,020	0,050
доля 0,0385	0,004	2,503	0,012	0,012	---	0,077	---	---	0,001	0,002
ФМн70	7,000	6,000	70,00	---	---	---	---	---	0,020	0,050
доля 0,0064	0,045	0,038	0,448	---	---	---	---	---	---	---
ФХ650А	6,500	---	---	65,00	---	---	---	---	0,060	0,030
доля 0,0386	0,251	---	---	2,509	---	---	---	---	0,002	0,001
ФСМг7	---	50,00	---	---	7,000	1,200	0,600	0,200	0,010	0,030
доля 0,01	---	0,500	---	---	0,070	0,012	0,006	0,002	---	---
Хим. состав без угара	6,101	3,126	0,842	2,521	0,070	0,089	0,006	0,002	0,009	0,038
Угар, доля	0,400	0,075	0,150	0,025	0,650	0,100	0,500	0,001	0,200	0,250
Полученный хим. состав	<b>3,661</b>	<b>2,891</b>	<b>0,716</b>	<b>2,46</b>	<b>0,025</b>	<b>0,080</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	<b>0,007</b>	<b>0,028</b>
Требуемый хим. состав	3,650	2,900	0,700	2,50	0,024	---	---	0,002	0,020	0,030

Шихтовка на выплавку чугуна для отливки заготовок высокотемпературных кокилей:

МАТЕРИАЛ	Содержание в шихте, %
Лом стальной (сталь Зсп)	<b>85,00</b>
УСМ (бой графитовых электродов)	<b>5,65</b>
Ферросилиций ФС65	<b>3,85</b>
Ферромарганец ФМн70	<b>0,64</b>
Феррохром ФХ650А	<b>3,86</b>
Модификатор ФСМГ7	<b>1,00</b>

Загрузку материалов в индукционную печь производить в следующей последовательности:

- 1.) УСМ на дно тигля полностью 100%.
- 2.) Феррохром ФХ650А на УСМ полностью 100%.
- 3.) Ферромарганец ФМн70 на феррохром полностью 100%.
- 4.) Ферросилиций ФС65 на ферромарганец полностью 100%.
- 5.) Лом стальной (сталь 3сп) на ферромарганец 70% от общего количества.

Включить печь и произвести расплавление шихты.

Выключить печь и произвести дозагрузку оставшихся 30% стального лома.

Включить печь, расплавить металл и довести температуру перегрева до 1450...1470 °С.

На дно прогретого и высушенного при помощи газовых горелок ковша, насыпать модификатор ФСМг7 равномерным слоем по всей площади днища ковша. Включить газовую горелку и производить нагрев модификатора открытым пламенем внутри ковша в течение 8...10 минут.

Слить расплав из печи в ковш с прогретым модификатором. Во время слива металла, удалить персонал от ковша на безопасное расстояние. Все рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, одеты в суконные костюмы, войлочные рукавицы, каски, очки или защитные маски (пластиковые прозрачные щитки).

После окончания протекания реакций горения магния (1...2 минуты), снять шлак с зеркала ковша начисто. Дать металлу отстояться в ковше в течение 5...7 минут. Если на поверхности металла опять всплывёт шлак, снять его при помощи металлических скребков до чистого зеркала. Нахождение металла в ковше с модификатором не более 15 минут, потому что время действия эффекта модифицирования составляет не более 25...30 минут.→

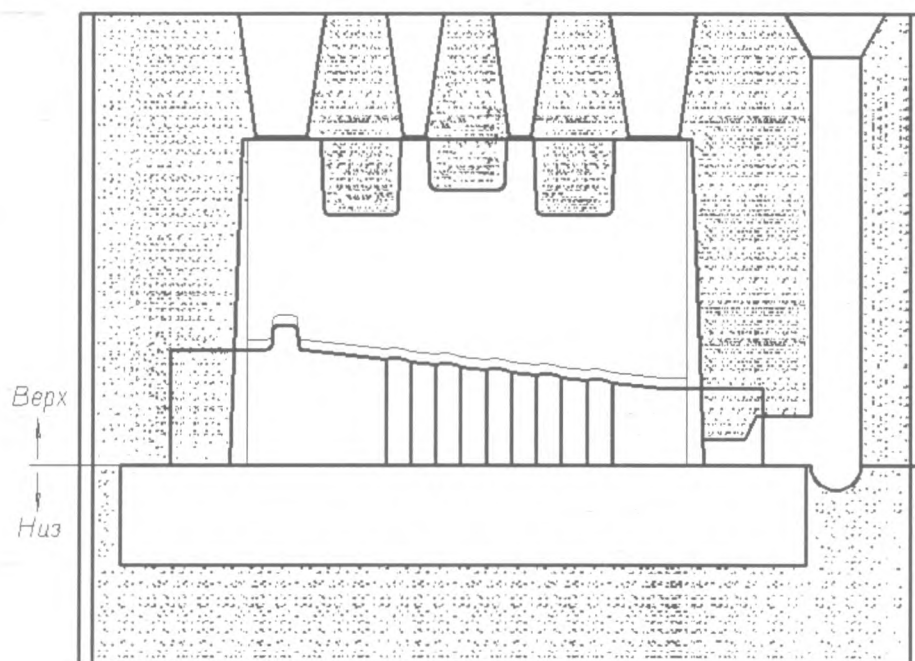
При температуре 1380...1420 °С приступить к заливке формы заготовки кокиля.

#### ---8.5.) Изготовление формы и отливка заготовки для кокиля.

Для получения равновесной и без внутренних напряжений микроструктуры, отливку производить будущей рабочей поверхностью кокиля на холодильник. Это обеспечит оптимально мелкий размер зерна (кристаллов) металлической матрицы и округлую компактную форму графитовым включениям.

Холодильник отлить из чугуна и обработать в размер, с учётом припуска на механическую обработку готового кокиля 4...5 мм. Рабочую поверхность холодильника, которая будет соприкасаться с отливкой, тщательно обработать на станке с ЧПУ. Поверхность должна быть гладкой и ровной. Перед установкой в кокиль, холодильник нагреть до температуры 150...200 °С и покрыть графитовой краской – тонким равномерным слоем.

Схема отливки заготовки кокиля должна выглядеть так:



В целях снижения возможности образования газовых раковин в отливке, формовку в сырые песчано-глинистые формы не осуществлять. Использовать формовочную смесь следующего состава:

- песок кварцевый (крупный речной) ----- 45 %;
- песок кварцевый мелкий ----- 45 %;
- пылевидный кварц (маршаллит) ----- 9 %;
- стекло жидкое (натриево) ----- 1 %.

После изготовления, форму сушить пламенем газовых горелок не менее 3 часов. После сушки, рабочие полости формы окрасить графитовой краской и опять сушить пламенем газовых горелок не менее 1 часа.

Температура формы перед заливкой, должна составлять 100...150 °С.

При заливке формы, следить, чтобы куски шлака не попадали в литниковую чашу. После заливки, подпитать прибыльные части, литниковую чашу и выпоры отливки. Затем присыпать мениски прибылей сухой формовочной землёй в целях равномерной усадки и плавного питания отливок. Время кристаллизации и выдержки отливок внутри формы должно составлять не более 1,5...2 часов, чтобы избежать высокой степени рекристаллизации (роста зерна).

### ---8.6.) Механическая обработка кокилей на станках с ЧПУ.

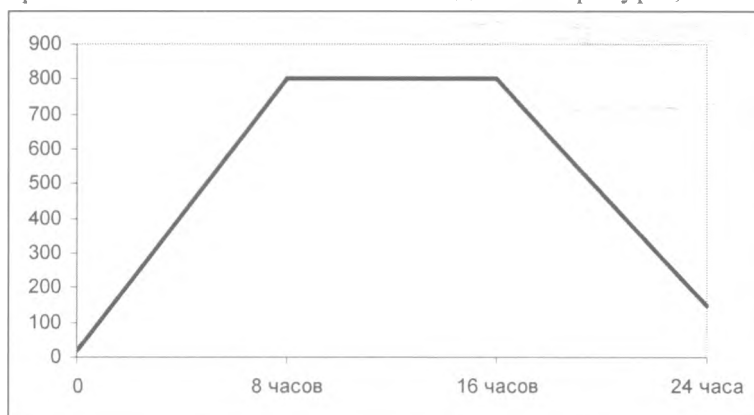
После извлечения готовой отливки из формы и отделения её от холодильника, очистить все поверхности от пригара формовочной земли (если таковой будет иметься на непрокрашенных участках).

Ввиду того, что отливка производится на холодильник, внутренняя структура, вся или только часть, будет состоять из химического соединения цементита Fe<sub>3</sub>C (отбелённого чугуна), который характеризуется очень высокой твёрдостью. Но зато формы кристаллов (зёрен) в его структуре, будут иметь компактную и равновесную по напряжениям форму, что и требуется для получения высокопрочного чугуна.

В целях снижения твёрдости для последующей механической обработки отливок, следует разложить химическое соединение цементит Fe<sub>3</sub>C на более простые фазы – перлит, аустенит и свободный графит. В свою очередь высвобождаемый графит, должен иметь округлую компактную (вермикулярную или шаровидную) форму. Требуемые в таких случаях превращения структуры, достигаются проведением графитизирующего отжига в термических печах.

Перед механической обработкой отливок заготовок высокотемпературных кокилей, произвести их термическую обработку по следующему режиму:

- Нагрев со скоростью 100 °С/час до температуры 800 °С.
- Выдержка при температуре 800 °С в течение 8 часов.
- Охлаждение с закрытой печью в течение 8 часов до температуры, не выше чем 150 °С.



После термообработки, когда отливки станут иметь удовлетворительную твёрдость и заданную микроструктуру графитовых включений, можно приступать к обработке их сопрягаемых и формирующих отливку поверхностей на станках с числовым программным управлением. Обработанные поверхности должны быть ровными и гладкими, с низким классом шероховатости.

### ---8.7.) Эксплуатация кокилей.

В целях увеличения срока службы кокилей для разливки как алюминиевых, так и высокотемпературных сплавов, рекомендуется производить защиту их рабочих поверхностей при помощи огнеупорных красок. Последним словом в мировой практике литейного производства становится использование новейших огнеупорных керамических композитов вместо красок на основе извести или кристаллического графита.

Термостойкий керамический композит ТКК-1800 (патент РФ №2521540) получают смешиванием порошкообразных компонентов в определённых соотношениях с жидким золь-гель продуктом. Данная смесь представляет собой многокомпонентную однородную массу светло-бежевого цвета, которая обеспечивает высокую укрывистость при нанесении на кокиль или на изложницу.

Состав композита включает в себя следующие ингредиенты:

Составляющие ТКК	Содержание, %
Электрокорунд	20...30
Двуокись титана	2...10
Двуокись циркония	2...10
Тальк	5...15
Каолин	20...30
Золь-гель продукт	20...30
Вода	остальное

ТКК после нанесения на поверхность металлургической разливочной посуды, в процессе нагревания (сушки) при относительно низкой температуре, превращается в монолитный композит, температура плавления которого составляет порядка 1800 °С. ТКК-1800 в виде минерализованного раствора является самотвердеющим, образуя при увеличении концентрации твёрдых частиц неразрушающийся, но одновременно деформируемый под действием теплосмен каркас покрытия.

В золь-гель продукте, синтезированном с использованием силиката натрия, получают материал со структурой, обладающей высокой гомогенностью (вплоть до молекулярного уровня), поэтому материал характеризуется высокими механическими свойствами, а также термической и химической стабильностью. Алюмосиликат в его составе значительно улучшает механические свойства полимера. Готовый материал состоит из нескольких фаз с чёткими межфазными границами. Система содержит усиливающие элементы (твёрдые частицы), погружённые в полимерную матрицу, с различными отношениями длины к сечению (что и создаёт упрочняющий эффект: механическую пластичность и термостойкость).

При температурном диспергировании резко возрастает поверхностная активность вещества в твёрдом состоянии и скорость физико – химического взаимодействия компонентов, что обеспечивает увеличение срока службы металлургической разливочной посуды, графитированных электродов, графитсодержащих тиглей и т.п. – практически в 1.6 раза. Данное покрытие можно наносить методом окунания, распыления или намазывания на подогретую до 300...350°С поверхность. Обжиг покрытия производится в процессе эксплуатации металлургического оборудования.

При обезвоживании в процессе сушки или обжига, термостойкий керамический композит образует устойчивую, огнеупорную, пластичную, термостойкую, монолитную массу с блестящей поверхностью, которая защищает кокиль или изложницу от воздействия высокой температуры жидкого металла, газовой и воздушной среды, предотвращая его окисление и разрушение. Также благодаря наличию оксидов титана и циркония, при высоких температурах эксплуатации, происходит микролегирование поверхностного слоя разливочной посуды, как наподобие процессов цементации или нитроцементации.

ТКК производится и поставляется компанией ОАО «УралКомпозит» согласно ТУ 1526-001-14377547-2003. Он обеспечивает получение качественной поверхности слитков (отливок), защиту разливочной посуды (изложниц или кокилей) от образования трещин, вскрытия раковин и значительно увеличивает срок их эксплуатации.



### ---8.8.) Обслуживание и ремонт кокиля.

Правильная эксплуатация и своевременный ремонт кокиля существенно увеличивают его стойкость и являются необходимым условием получения отливок заданного качества.

Перед работой кокиль должен быть осмотрен, испытан, подготовлен и проверен согласно технологической инструкции на эксплуатацию.

Мелкие производственные неисправности кокиля (привар скрапа к поверхности, царапины, заусенцы, риски, коробление, изогнутость стержней или толкателей) – устраняет слесарь-сборщик кокильщик.

При текущем ремонте кокиля – исправляют или делают новые толкатели, венты или металлические стержни; выправляют коробление, добиваясь плотного смыкания его половинок. Трещины на кокиле разделяют под углом  $45^\circ$  и заваривают полуавтоматической сваркой, после чего – снимают при помощи механической или слесарной обработки избыток наплавленного металла, который должен выступать не менее чем на 4 мм над ремонтируемой поверхностью.

Для уменьшения образования коробления и трещин, кокиль из стали 10Л...15Л – для отливки алюминиевых сплавов, через каждые 3000...4000 заливок, рекомендуется подвергать низкотемпературному отжигу для снятия и релаксации термических напряжений по следующему режиму:

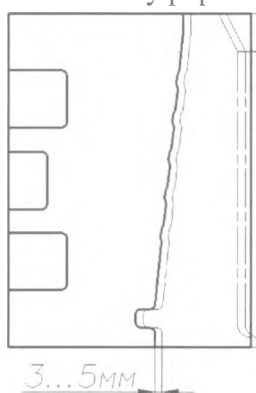
--- Нагрев со скоростью  $70\text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$  до температуры  $580\text{...}600\text{ }^\circ\text{C}$ .

--- Выдержка при температуре  $580\text{...}600\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 часов.

--- Охлаждение с закрытой печью до  $150\text{ }^\circ\text{C}$  и далее на воздухе.



После значительного износа, образования в кокиле нескольких крупных трещин или сетки разгара, большого коробления или истирания поверхности – производить его механическую обработку на станке с ЧПУ по сохранённой программе, при которой его изготовили, только опустившись вниз на  $3\text{...}5\text{ мм}$  – на обеих полуформах кокиля, согласно схемы:



После капитального ремонта проверяются основные размеры полости кокиля, при необходимости – производится несколько контрольных заливок. Полученные отливки измеряются на соответствие проектно-конструкторской документации. Данные о ремонте заносятся в паспорт кокиля.

Кокили в комплекте с другой технологической оснасткой (контрольные шаблоны, стержни, толкатели и т.д.) – должны храниться в цеху или на складе. Мелкие и средние кокили размещаются на стеллажах, а крупные – на поддонах на полу в специально отведённых подкрановых местах. Перед отправкой на хранение, кокили очищаются от теплоизоляционного покрытия, а рабочие поверхности и подвижные соединения покрывают машинным маслом или солидолом в целях избегания их коррозии.