



Производство чёрных и цветных металлов

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ

ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СЛИТКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Изучение условий охлаждения на процесс формирования слитка

Цель работы – изучить влияние условий охлаждения на процесс кристаллизации слитка.

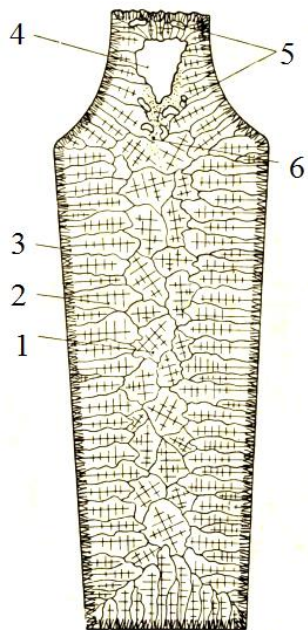
Оборудование, приборы, материалы

1. Модель изложницы с прозрачными стенками.
5. Парафин.
6. Электроплитка.
7. Модели надставок из дерева, гетинакса, дуралюмина.
8. Металлическая линейка.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ. ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА СЛИТКА

Характер кристаллизации сплава в слитках или в отливках в значительной мере предопределяет качество готовых деталей. Сталь, поступающая в изложницу, нагрета выше температуры плавления на 40-70 °С.

При соприкосновении жидкой стали с холодными стенками изложницы происходит быстрое переохлаждение слоев, непосредственно примыкающих к стенкам изложницы.



Вследствие этого образуется большое число центров кристаллизации. Это приводит к образованию множества кристаллов, не имеющих определенной ориентации, и формированию в слитке зоны мелких поверхностных равноосных кристаллов 3.

Схема структуры стального слитка: 1 – центральные равноосные кристаллы; 2 – столбчатые кристаллы; 3 – мелкие поверхностные кристаллы; 4 – усадочная раковина; 5 – газовые пузыри и пустоты; 6 – усадочная рыхлость и ликвационная зона

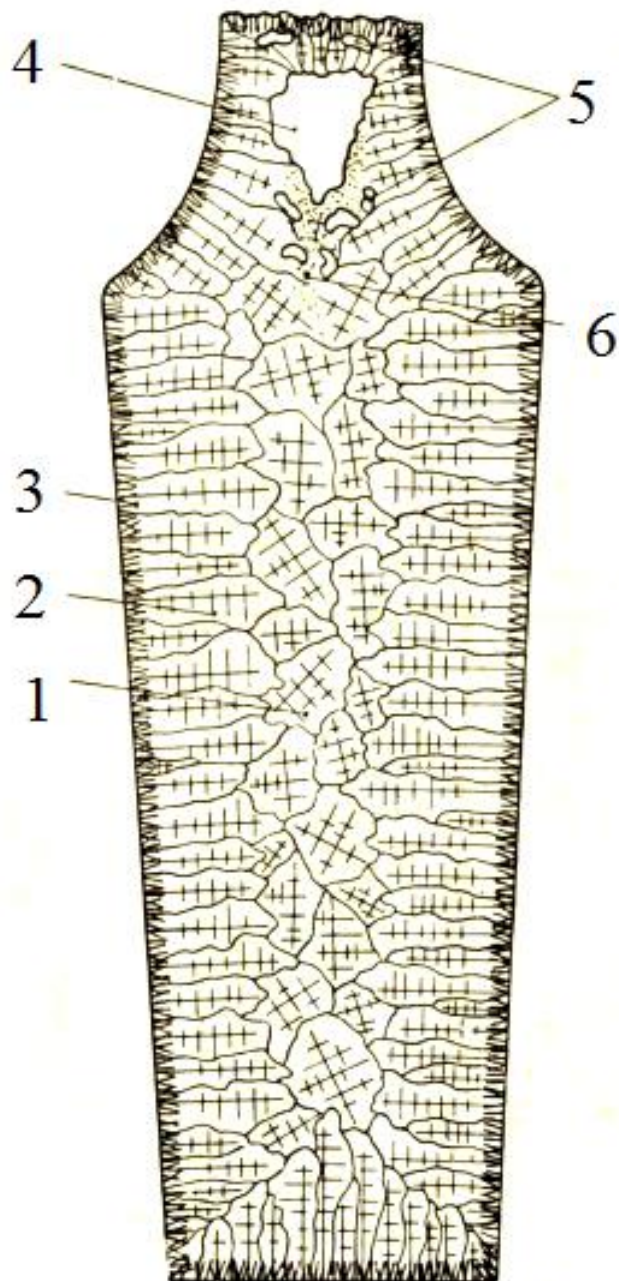
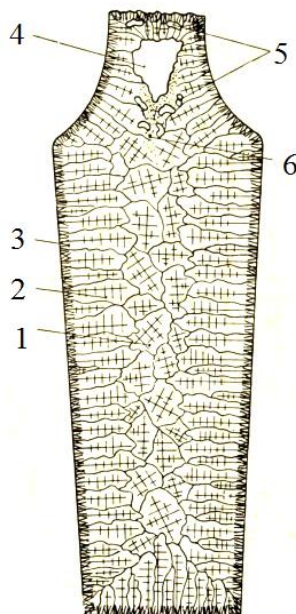


Схема структуры стального слитка: 1 – центральные равноосные кристаллы; 2 – столбчатые кристаллы; 3 – мелкие поверхностные кристаллы; 4 – усадочная раковина; 5 – газовые пузыри и пустоты; 6 – усадочная рыхлость и ликвационная зона

ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА СЛИТКА

В процессе формирования поверхностного слоя твердых кристаллов изложница нагревается, что приводит к значительному уменьшению скорости отвода теплоты.

Это уменьшает степень переохлаждения жидкого металла, непосредственно примыкающего к твердым кристаллам.



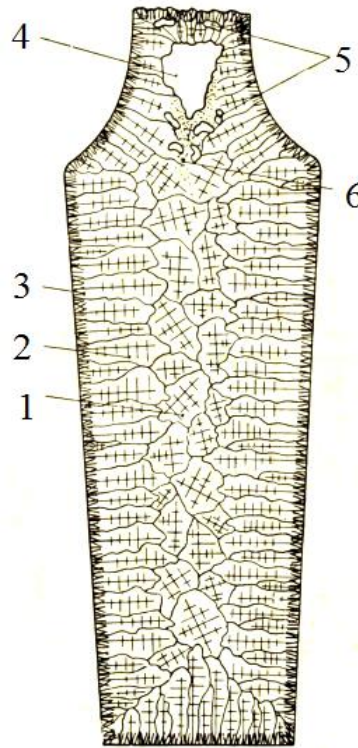
При небольшой степени переохлаждения новые центры кристаллизации возникают в очень малом количестве.

Вместе с тем затвердевание стали продолжается вследствие непрерывающегося отвода теплоты от слитка через стенки изложницы. Затвердевание происходит путем дальнейшего роста части уже образовавшихся кристаллов. Причем продолжают расти и развиваться только те кристаллы, которые расположены вдоль линий отвода теплоты, т.е. направленные по нормали к поверхности охлаждения.

ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА СЛИТКА

Таким образом, за внешним слоем кристаллов растут столбчатые кристаллы, направленные нормально к охлаждающей поверхности 2.

Ширина зоны столбчатых кристаллов зависит от температуры разливаемой стали, скорости отвода теплоты при кристаллизации, а также от химического состава стали.



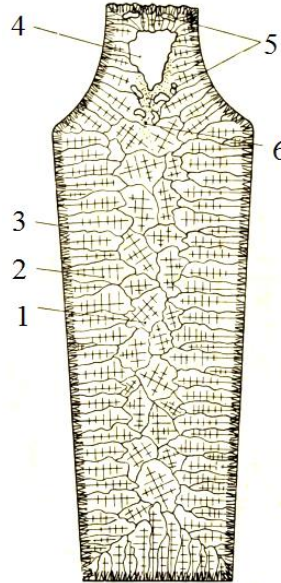
Повышение температуры металла при разливке способствует увеличению зоны столбчатой кристаллизации и уменьшению зоны неориентированных кристаллов.

Снижение скорости отвода теплоты от слитка способствует уменьшению зоны столбчатых кристаллов и увеличению зоны равноосных кристаллов, что связано с процессом выравнивания температуры в объеме жидкой стали.

ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА СЛИТКА

Зона столбчатых кристаллов обладает высокой плотностью, так как она имеет мало газовых пузырей и раковин. Однако в участках стыка столбчатых кристаллов, особенно растущих от разных поверхностей, металл имеет пониженную прочность,

и при последующей обработке давлением (ковке, прокатке и т.д.) в этих участках могут возникнуть трещины; поэтому для малопластичных металлов развитие столбчатых кристаллов нежелательно.



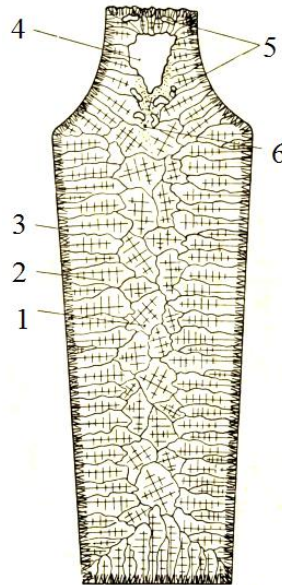
В центральной части слитка образующиеся кристаллы располагаются без определенной ориентировки, их главные оси не соответствуют направлению, по которому происходит отвод теплоты.

Это объясняется тем, что центральная часть слитка затвердевает в условиях ограниченного объема в перегретой жидкой стали, температура которой уже успевает выровняться по всему оставшемуся объему. В результате этого, а также вследствие неравномерного распределения примесей, происходит образование неориентированных равноосных кристаллов в средней части слитка 3.

ОБРАЗОВАНИЕ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ И УСАДОЧНОЙ РЫХЛОСТИ КАК ДЕФЕКТОВ

Процесс образования кристаллов связан с закономерным перераспределением атомов в объеме жидкости и характеризуется их правильным расположением, когда атомы сохраняют постоянство межатомных расстояний и угловых соотношений. Вследствие этого жидкий металл имеет больший удельный объем, чем твердый.

Уменьшение объема металла в процессе кристаллизации называют *усадкой*. Концентрированные пустоты в слитке, вызванные усадочными явлениями, называют *усадочными раковинами*,



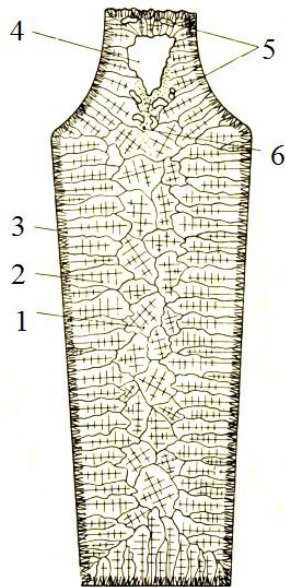
а мелкие, рассеянные по всему сечению слитка, такие же пустоты – *усадочной рыхлостью* или *пористостью*. Механизм образования усадочных пустот можно представить следующим образом.

Уровень металла после заполнения им изложницы горизонтальный. Через некоторое время вследствие охлаждающего действия стенок изложницы образуется небольшой толщины корка, объем которой меньше объема жидкого металла, израсходованного на ее образование.

ОБРАЗОВАНИЕ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ И УСАДОЧНОЙ РЫХЛОСТИ КАК ДЕФЕКТОВ

Вследствие этого уровень жидкого металла в изложнице понизится. В дальнейшем корка твердого металла будет утолщаться, что вновь приведет к понижению уровня жидкого металла.

Таким образом, в конце кристаллизации в верхней части слитка образуется воронка, не заполненная металлом, которую и называют **усадочной раковинной**.



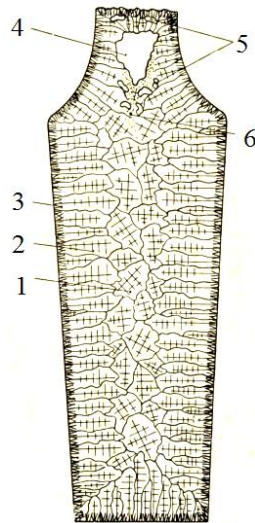
Однако охлаждение металла в небольшой степени происходит также сверху, что обуславливает образование зачастую **закрытой усадочной раковины**. Над усадочной раковинной образуется в этом случае **небольшая корка металла**.

Дендриты, растущие навстречу друг другу от противоположных стенок изложницы, могут встречаться еще до окончания затвердевания всего слитка. Образуются так называемые **мосты**, затрудняющие питание жидкостью металла нижележащей осевой части слитка.

ОБРАЗОВАНИЕ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ И УСАДОЧНОЙ РЫХЛОСТИ КАК ДЕФЕКТОВ

Образование мостов связано с тем, что сталь кристаллизуется в определенном температурном интервале. Кристаллизация маточного раствора под мостами вследствие более высокого содержания в нем примесей заканчивается при более низкой температуре, чем срастание дендритов, образующих мост.

Последние остатки металла в осевой зоне слитка затвердевают в условиях отсутствия связи с лежащими выше слоями жидкого металла. Это приводит к образованию *осевой рыхлости*.



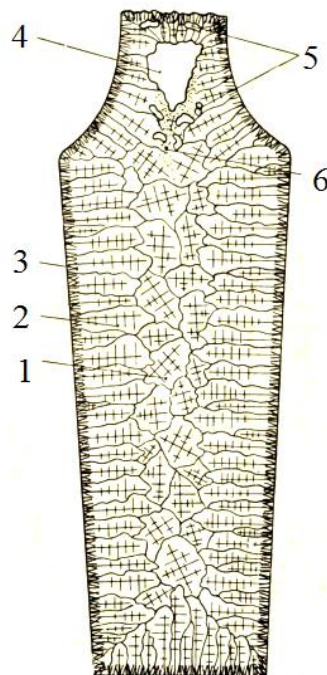
Объем усадочной раковины обычно невелик и составляет около 3% всего объема слитка. Однако усадочная раковина часто имеет вытянутую форму и проникает далеко вглубь слитка.

Ту часть слитка, в которой расположена усадочная раковина, отрезают. Для уменьшения количества обреза следует вывести усадочную раковину в верхнюю часть слитка (прибыль), сделать раковину мелкой. Для этого необходимо усилить охлаждение нижней части слитка и уменьшить охлаждающее действие стенок в верхней части изложницы (утеплить прибыль).

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СЛИТКА

Затвердевание стали начинается сразу после соприкосновения жидкого металла со стенками и дном изложницы. Вначале этот процесс идет очень быстро, поскольку холодные стенки изложницы сильно охлаждают жидкий металл, а затем замедляется.

Интенсивность отвода теплоты от слитка уменьшается как вследствие нагрева стенок изложницы, так и из-за невысокой теплопроводности уже образовавшейся корки и постоянного увеличения ее толщины.



Расширение изложницы при ее нагреве и усадка слитка приводят к образованию зазора между слитком и изложницей.

Образующаяся воздушная прослойка значительно уменьшает отвод теплоты от слитка.

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СЛИТКА

По этим причинам скорость увеличения толщины корки со временем уменьшается. Толщина затвердевшей корки может быть определена из уравнения

где δ – толщина затвердевшей корки, мм;

τ – время затвердевания, мин;

K – коэффициент затвердевания (скорости кристаллизации), мм/мин^{1/2}.

$$\delta = K\sqrt{\tau},$$

Скорость затвердевания уменьшается с увеличением толщины корки, но в самом конце затвердевания возрастает.

Это обусловлено тем, что в конце затвердевания внутри слитка остается небольшое количество жидкого металла, а интенсивность отвода теплоты еще достаточно высока, что и приводит к быстрому затвердеванию центральной части слитка.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

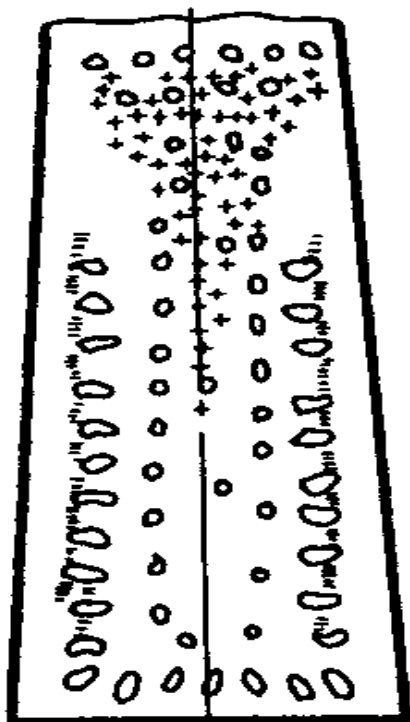
Для изучения влияния условий охлаждения на формирование усадочных дефектов структуры слитка в данной работе используется метод моделирования, предусматривающий заливку жидкого парафина в модель изложницы с прозрачными стенками.

Лабораторная установка представляет собой модель изложницы для слитка прямоугольного сечения.

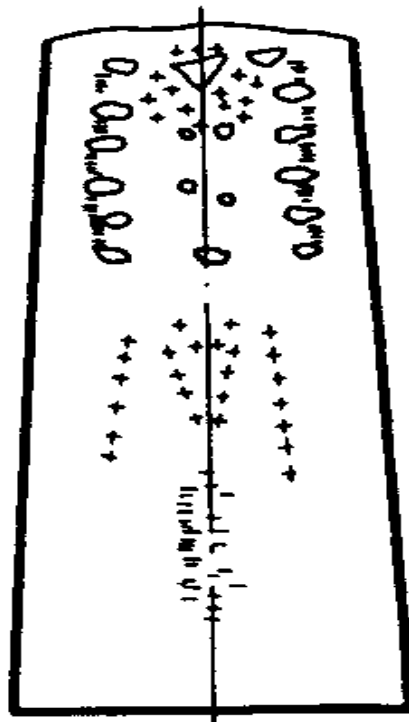
Для наблюдения за затвердеванием жидкого парафина боковые стенки большей стороны сечения модели изложницы выполнены прозрачными из органического стекла, а стенки меньшей стороны – стальными.

Для изменения скорости охлаждения металла в прибыльной части слитка используются надставки из различных материалов – дерева, текстолита, стали.

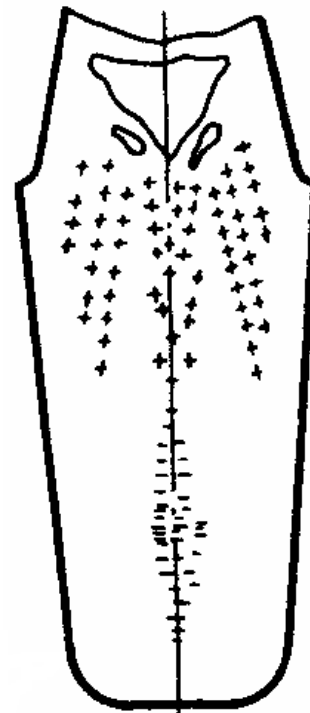
СЛИТКИ СТАЛИ



Кипящая сталь



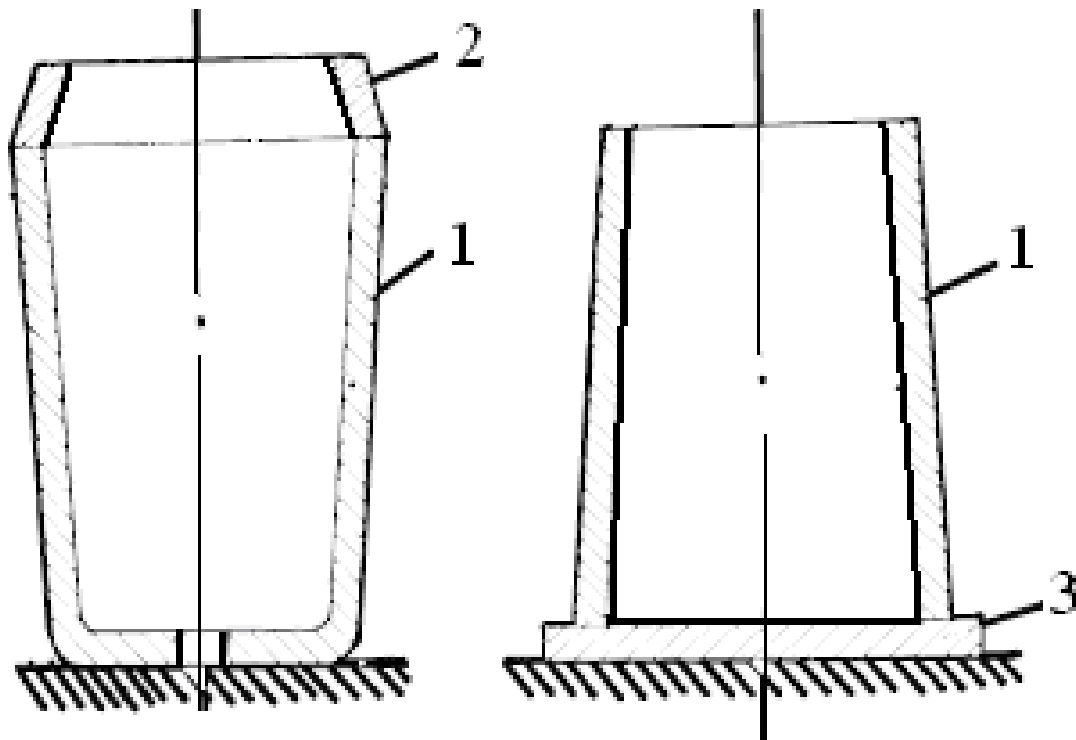
**Полуспокойная
сталь**



**Спокойная
сталь**

ТИПЫ ИЗЛОЖНИЦ

По форме продольного сечения изложницы бывают двух типов: а - с уширением кверху, б – с уширением к низу.



- 1 – изложница,
- 2 – прибыльная надставка,
- 3 – поддон



Изложницы



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа по моделированию условий формирования структуры слитка выполняется бригадой студентов в количестве 3-4-х человек в следующем порядке.

1. Залить в модель изложницы с надставкой из различных для каждой бригады материалов жидкий парафин с заданной температурой и проследить за процессом его затвердевания, определяя через определенные промежутки времени толщину затвердевшего слоя.

Первые четыре-пять замеров произвести через каждые 2 мин, остальные замеры до полного затвердевания производить через 5 мин. Полученные данные занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1. – Результаты замеров затвердевшего слоя

№ п/п	Время затвердевания t , мин	Толщина корки δ , мм	Коэффициент скорости кристаллизации K , мм/мин ^{1/2}

Для изменения скорости охлаждения металла в прибыльной части слитка используются надставки из различных материалов – дерева, текстолита, стали.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

По формуле (5.2) определить коэффициент скорости кристаллизации для каждого замера толщины корки.

3. Построить зависимость толщины образующейся корки от времени затвердевания слитка в координатах δ , мм – τ , мин.

$$K = \frac{\delta}{\sqrt{\tau}}$$

4. Вычислить средний коэффициент скорости кристаллизации по формуле

$$\%_{\text{обрезки}} = \frac{h_{\text{ус}}}{h_{\text{сл}}} \cdot 100\%,$$

5. Определить средний диаметр слитка $d_{\text{ср}}$ и рассчитать время полной кристаллизации $\tau_{\text{общ}}$ по формуле

$$K_{\text{ср}} = \frac{\delta}{\sqrt{\tau}} = \frac{\sum \delta}{\sum \sqrt{\tau}}$$

где $h_{\text{ус}}$ – глубина залегания усадочной раковины от верха слитка, мм;

$h_{\text{сл}}$ – высота слитка, мм.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Полученные каждой бригадой данные занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2. – Итоговые результаты исследований

№ п/п	Материал надставки	Температура расплава, °С	Коэффициент скорости кристаллизации, мм/мин ^{1/2}	Время затвердевания, мин	Глубина залегания усадочной раковины, мм	Высота слитка, мм	Величина обреза, %

7. Оформить отчёт о работе.

Оформление отчета

Отчет должен включать:

1. Цель работы.
2. Краткое изложение теоретических основ работы.
3. Полученные результаты по формированию слитка парафина в моделях изложниц в виде таблиц и графиков.
4. Выводы о влиянии условий охлаждения на продолжительность затвердевания слитка и глубину усадочной раковины.

ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Контрольные вопросы

1. С какой целью проводится раскисление стали?
2. Как раскисляют спокойную сталь?
3. Как раскисляют кипящую сталь?
4. Как раскисляют полуспокойную сталь?
5. Строение слитка спокойной стали.
6. Строение слитка полуспокойной стали.
7. Строение слитка кипящей стали.
8. Факторы, влияющие на строение слитков.
9. Мероприятия по уменьшению усадочной раковины в слитке спокойной стали.
10. Как влияет степень раскисления на свойства стали?