Записки Ленинградского Горного Института. Том XII, вып. 1, 1939
Annales de l'Institut des Mines à Leningrad. Vol. XII, liv. 1, 1939

Распределение структур в отливке из сплава диабаза с пикритом

Инж. *Л. Г. Кваша*

Distribution of structures in castings from a meet of diabase and picrite

Eng. *L. G. Kvasha*

При петрографическом исследовании изделий камнелитейной промышленности мы с первых же шагов столкнулись с задачей изучения не только состава и структур как отдельных единиц, но и с задачей изучения распределения этих структур в отливке в зависимости от формы последней.

Петрографическое исследование переплавленных горных пород принципиально не отличается от металлографического исследования сплавов металлов. При изучении строения последних всегда пользуются пластиной, вырезанной по всему сечению отливки. „Вырезывание небольшого куска из большого профиля большей частью бесполезно для исследования, так как строение вещества не обязательно одно и то же во всех местах сечения" (Hütte, справочная книга для металлургов).

Необходимость подобного изучения настолько очевидна, что не требует доказательства.

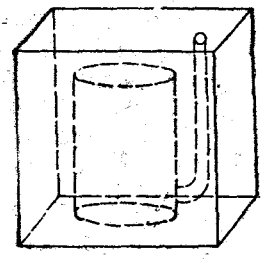


Рис. 1. Положение формы в момент заливки.

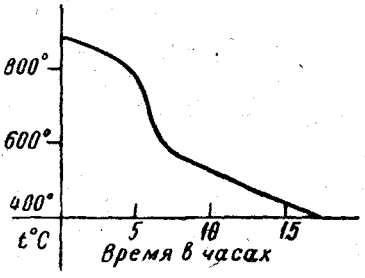


Рис. 2. Термический режим кристаллизационной печи.

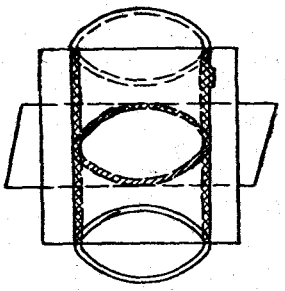


Рис. 3. Схема распиловки муфты. Заштрихованы плоскости, по которым выпилены пластины для петрографических шлифов. 1/10 нат. вел.

Задача настоящей работы заключалась в петрографическом исследовании структуры отливки, состоящей из сплава диабаза и пикрита *.

Отливки из этого сплава производились опытным камнелитейным заводом НИСа Ленинградского горного института в порядке эксперимента.

Расплав, состоящий из Ропручейского диабаза и Сегозерского пикрита, взятых в отношении примерно 2:1, был вылит при температуре около 1500° С в холодную земляную изложницу в форме муфты (рис. 1).

---

* Химический анализ (технический): SiO_2—47,92; Fe_2O_3—26,98; $Al_2O_3 + TiO_2$—7,12; CaO—6,60; MgO—10,90.

Застывшая отливка, освобожденная от формы, была помещена в кристаллизационную печь, где выдерживалась 17 *час.* Термический режим изображен графически на рис. 2 *.

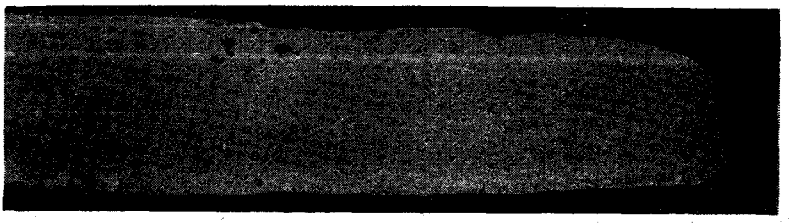


Рис. 4. Петрографический шлиф; срез по плоскости симметрии. Нат. вел.

После окончания термической обработки было приступлено к петрографическому изучению строения отливки. Как обычно, первым этапом является выбор сечений, распределение структур в которых являлось бы характерным для всего тела отливки. Для нашей отливки-муфты таких сечений было выбрано два: плос-

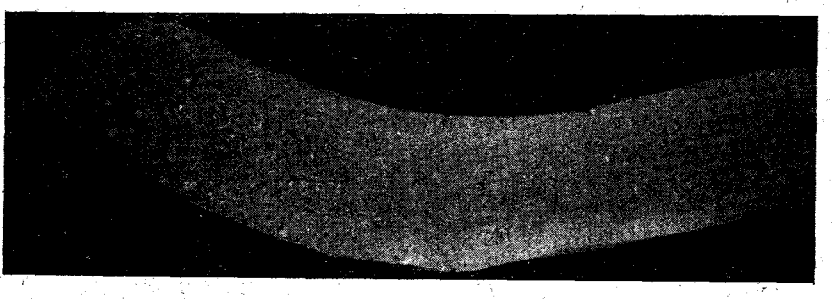


Рис. 5. Петрографический шлиф; срез по плоскости, перпендикулярной оси вращения муфты.

кость симметрии муфты, проходящей через литник муфты, и сечение, перпендикулярное оси вращения в середине высоты муфты. На рис. 3 показаны сечения, по которым были выпилены пластины для петрографических шлифов (рис. 4 и 5).

Распределение структур в сечениях и описание этих структур

Разберем сначала распределение структур в различных сечениях по отдельности.

1. Сечение стенки муфты по плоскости симметрии на 180° от центра литника (общая схема распределения структур показана на рис. 6).

Рассматриваем изменение структур в направлении от внешнего края стенки муфты к внутреннему.

В общих чертах строение сплава зонально и симметрично относительно середины стенки муфты, уклоняясь в участке, противоположном литнику. С поверхности охлаждения сплав сильно порист (1-ая структурная зона), состоит из круглых сферолитов, редких незначительных участков бурого стекла и магнетита; встречаются также сферолиты полигональных очертаний. Обычно сферолиты образуют полосы, объединяющиеся в пачки, параллельные стенкам отливки, придавая таким образом сплаву своего рода флюидальную текстуру. Ширина этой 1-ой зоны от 1 до 2 *мм* (рис. 7).

* Данные термического режима кристаллизационной печи так же, как данные химического анализа, получены в камнелитейной лаборатории НИСа Горного института.

1-ая зона переходит в почти непрозрачный сплав из тонкоскелетных образований силикатного минерала (оливина), пропитанных магнетитом. Наблюдаются целые участки полигональных скоплений тонких скелетов оливина (рис. 8) обычно около зоны сферолитовой структуры. Ширина 2-ой зоны около 1 *мм*. Граница между первой и второй зонами неровная, но резкая.

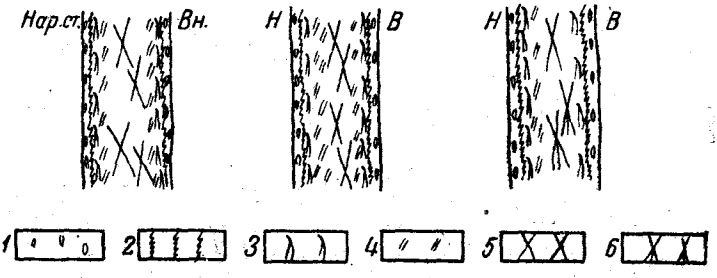


Рис. 6. Схема распределения структур в плоскости симметрии муфты на 180° от центра литника. 1 — сферолитовая структура; 2 — тонкоскелетная; 3 — тонкосетчатая; 4 — сред. несетчатая; 5 — крупносетчатая; 6 — метельчатая.

Макроскопически сплав обеих зон — шириной до 3 *мм* — представляется черным афанитовым, резко отличаясь от остального сплава. Эту „кайму" можно сравнить с окалиной металлических отливок.

За зоной „окалины" идет сплав с полукристаллической структурой, отличающейся тонкосетчатостью *. Эта структура отличается чрезвычайно тонко-таблит



Рис. 7. Край муфты. Сферолитовая и тонкоскелетная структуры (зона „окалины"). Николи скрещены. × 43.

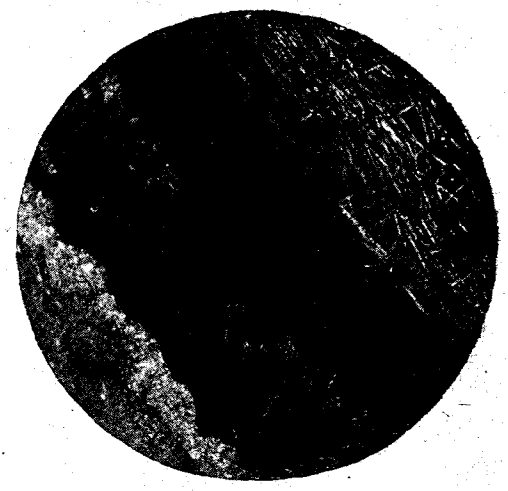
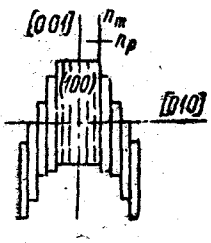


Рис. 8. Скопление тонких скелетов оливина. Николи скрещены. × 43.

чатыми кристаллами оливина **. В шлифе обычно наблюдаются сильно вытянутые в одном направлении разрезы [сечения, параллельные (001)]. Длина таблиц до 0,34 *мм*, толщина не более 0,009 *мм*. Они пересекаются друг с другом, местами перепутываясь, образуя неправильную сетку (на плоскости) и неправильные ячейки в пространстве.

Промежутки между табличками оливина выполнены стеклом и окислами железа (рис. 9). Участками эта зона как бы сдавлена, что выражается в том, что ячейки суживаются и угол между таблицами оливина уменьшается. Ширина этой зоны колеблется от 1 до 3 *мм*. Эта



* Разновидности полукристаллической структуры сплавов пикрита с диабазом выделены на основании размеров кристаллов и структурного узора.

** Оливин во всех разновидностях полукристаллической структуры представлен тонкотаблитчатыми кристаллами. Они вытянуты вдоль [001] и [100] и сплюснуты по [010]. В разрезах, параллельных [001], мы наблюдаем сильно развитый [010] и слабо развитые грани призмы, последние в мелких таблицах почти не наблюдаются. Нарастание таблиц оливина происходит также по [010].

структурная зона резко отделяется от следующей зоны, имеющей среднесетчатую структуру. Последняя характеризуется таблитчатыми кристаллами оливина длиной до 0,60 *мм*, толщиной 0,050 *мм*. Они пересекаются друг с другом, образуя участки треугольных или полигональных очертаний, выполненные стеклом и маг-



Рис. 9. Тонкосетчатая структура. Без анализатора. × 43.

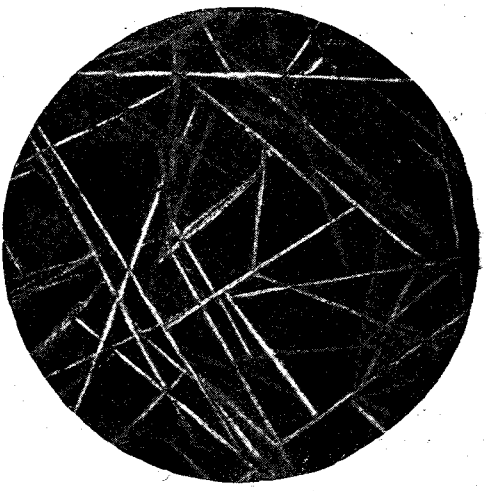


Рис. 10. Среднесетчатая структура. Без анализатора. × 43.

нетитом. Кристаллы оливина резко выделяются, образуя как бы каркас (рис. 10).

В этой зоне нередко наблюдаются „прослои" шириной до 1,3 *мм*, обычно 0,5 *мм*, с субпараллельно расположенными кристаллами оливина, не соприкасающимися друг с другом. Структуру такого „прослоя" можно выделить как особую разновидность порфировой структуры (рис. 11). Она характеризуется более толсто-

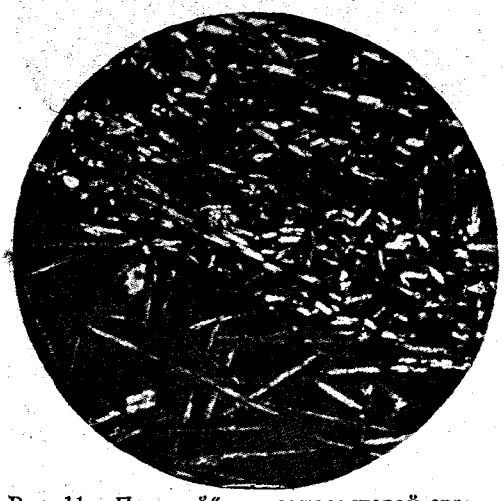


Рис 11. „Прослой" в среднесетчатой структуре. Без анализатора. × 43.

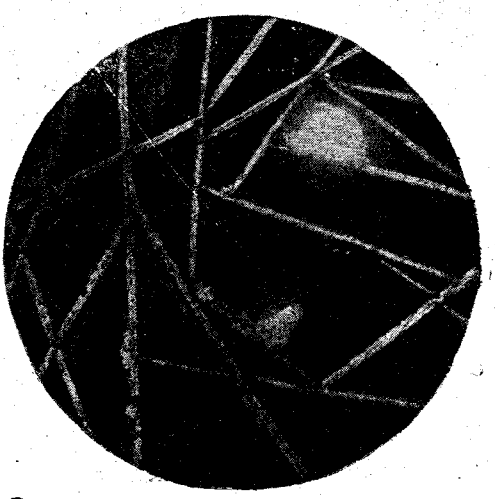


Рис. 12. Крупносетчатая структура. Без анализатора. × 43.

таблитчатыми кристаллами оливина *; можно наблюдать грани призмы и грани (010). Расположены они в массе непрозрачного стекла. Выделить эти „прослои" в отдельные зоны не представляется возможным.

За среднесетчатой зоной идет зона крупносетчатой структуры. Она занимает обычно центральную часть стенки отливки (рис. 12), участками переходя в метельчатую разновидность, описанную ниже.

* Для оливина этой разновидности наблюдаются в разрезах, параллельных (001) хорошо развитые грани призмы.

Крупносетчатая структура характеризуется широкими таблицами оливина от 2,5 до 4 *мм* длиной и не более 0,04 *мм* шириной. В разрезах, параллельных (001), таблицы оливина дают сильно вытянутые в одном направлении прямоугольники. Изредка попадаются косые срезы, еще реже разрезы параллельно (010); в таких разрезах оливин желтого цвета вследствие пропитывания его стеклом и магнетитом. В этих разрезах и параллельных (100) наблюдается хорошо выраженная спайность. Промежутки между таблицами оливина выполнены стеклом и магнетитом.

Расположение структур за крупносетчатой зоной в направлении к внутренней стенке муфты совершенно симметрично описанному расположению структур от центра к внешнему краю муфты, т. е. зоны идут в следующем порядке: среднесетчатая с „прослоями", тонкосетчатая, скелетная и сферолитовая (стекловатая).

Структуры распределяются одинаково зонально относительно всех поверхностей охлаждения отливки; единственное различие в структурах — большее количество „прослоев" у верха и низа отливки.

Сечение по плоскости симметрии, проходящее через литник (стенка муфты)

Здесь распределение структур не сохраняется одинаковым по всей высоте стенки муфты. Мы рассмотрим распределение структур вверху муфты около литника и внизу муфты под литником (рис. 13).

а) Верх муфты. У наружного края зона сферолитовой и тонкоскелетной структуры общей толщиной до 3 *мм*. Затем идет зона тонкосетчатой структуры толщиной до 2 *мм*, постепенно переходящая в среднесетчатую зону. Последняя занимает около 4 *мм*. Центральная часть стенки имеет крупносетчатую структуру, причем внутри зоны крупносетчатой структуры заключена зона метельчатой разновидности (рис. 14). Эта разновидность порфировой структуры характеризуется тонкими таблицами оливина, редко образующими параллельные пачки, а обычно характерные пучки пластин, заключенные в секторе не более 45°.

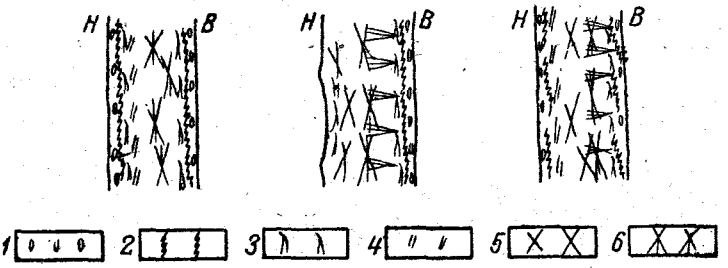


Рис 13. Схема распределения структур в плоскости симметрии муфты, проходящей через центр литника. 1 — сферолитовая структура; 2 — тонкоскелетная; 3 — тонкосетчатая; 4 — среднесетчатая; 5 — крупносетчатая; 6 — метельчатая.

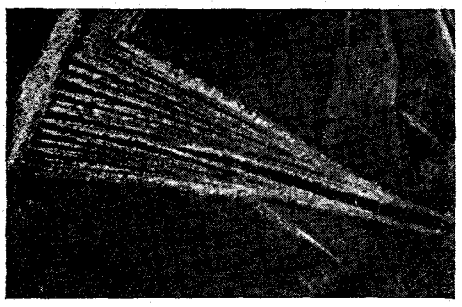


Рис. 14. Расщепленный (?) кристалл оливина. Без анализатора. × 43.

Такие образования обусловлены, очевидно, явлением расщепления растущего кристалла. В разрезе мы наблюдаем основную ветвь, в конце которой в обе стороны от нее нарастают более тонкие пластинки, к ним следующие пластинки уже под бо́льшим углом к главной ветви и т. д. Наросшие таким образом пластинки образуют аггрегат, очень напоминающий опахало в том случае, когда отщепляющиеся пластины уменьшаются в размере по мере удаления от главной ветви, и метлу, если они кончаются на одной линии. Весь этот аггрегат пропитан стеклом и окислами железа (рис. 15).

Непосредственно эта метельчатая структура переходит в тонкосетчатую структуру, резко отграничиваясь от последней. Длинные ветви оливинов нарастают перпендикулярно границе с тонкосетчатой структурой (рис. 16).

Здесь зона тонкосетчатой структуры кажется сдавленной: тончайшие таблицы оливина располагаются почти параллельно друг другу и стенкам отливки.

b) Распределение структур у литника. Непосредственно у литника сплав имеет крупносетчатую структуру, причем кристаллы оливина располагаются в сплаве параллельно контуру литника (см. рис. 13). Постепенно крупные



Рис. 15. Метельчатая структура. Без анализатора. × 43.

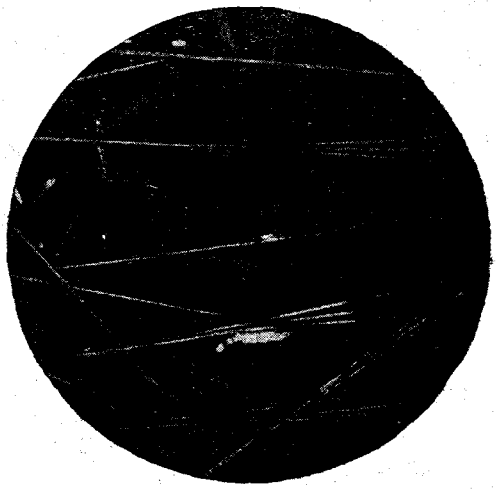


Рис. 16. Нарастание таблиц оливина перпендикулярно границе с тонкосетчатой структурой. Без анализатора. ×43.

таблицы оливина сменяются метельчатыми аггрегатами оливина. Общая толщина крупносетчатой и метельчатой зон около 15 *мм*. Сменяется метельчатая структура тонкосетчатой. Основные ветви метельчатого аггрегата перпендикулярны границе с тонкосетчатой структурой. За ней идет сплав со сферолитовой структурой, перемещающейся с неправильными участками стекла и тонкими скелетами оливина. Сплав около поверхности охлаждения сильно порист. Иногда полость поры как бы выстлана таблицами оливина.

c) Низ муфты (под литником). Распределение структур аналогично распределению структур у верха муфты, отличаясь более широкой зоной крупносетчатой структуры.

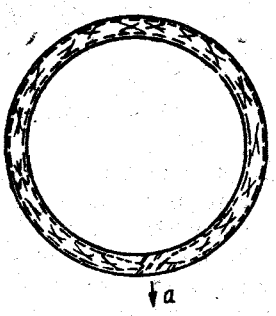


Рис. 17. Схема распределения структур в плоскости, перпендикулярной оси вращения муфты (на середине высоты ее). $^1/_5$ нат. вел. а — участок, противоположный литнику.

Сечение, перпендикулярное оси вращения муфты посредине высоты муфты

Распределение структур в этом сечении в общем почти аналогично распределению структур в описанных сечениях: оно также зонально и симметрично относительно центра стенки, за исключением тех участков, где отсутствует среднесетчатая структура. В этом сечении нужно выделить участок, противоположный литнику, шириной около 1 *см*.

В этом участке, во-первых, нужно отметить полное отсутствие крупносетчатой структуры и, во-вторых, форму границы между крупносетчатой и среднесетчатой структурами. Исследование структур и состава по отдельным участкам позволяет показать распределение их по всему сечению в виде следующей схемы, показанной на рис. 17.

Распределение структур можно наблюдать макроскопически. Особенно хорошо видны различные структурные зоны, если рассматривать пришлифованную плоскость отливки, предварительно смочив ее водой.

Распределение структур в теле отливки

Сопоставляя все исследованные сечения вместе, можно заключить, что структуры и, следовательно, минералогический состав в теле муфты распределяются следующим образом.

У поверхностей охлаждения сплав сильно порист, пропитан окислами железа. Непосредственно у поверхностей охлаждения сплав имеет сферолитовую структуру. Несколько дальше от поверхности охлаждения сплав имеет тонкоскелетную структуру, затем тонкосетчатую с большим количеством светло окрашенного стекла; в участке, противоположном литнику, сплав такой структуры занимает несколько больший, чем обычно, участок, вдаваясь к центру стенки. Следующая в направлении к стенке муфты структура среднесетчатая, она является как бы оболочкой, в которой заключен сплав крупносетчатой структуры. Среднесетчатая структура * занимает не только зону, параллельную стенкам отливки, но слагает целиком стенки в участке, противоположном литнику.

Крупносетчатая структура так же, как ее метельчатая разновидность, занимает центральную часть стенки, а у литника сплав с такой структурой слагает стенку с наружной поверхности. Нужно отметить, что таблицы оливина во всех структурах располагаются широкой стороной (010) параллельно образующим муфты и в большинстве случаев более или менее параллельно стенкам муфты. Нарастание таблиц оливина $\perp$ стенкам наблюдается изредка. Такое расположение таблиц оливина нужно принимать во внимание при испытаниях механических свойств.

По минералогическому составу здесь приходится выделить две зоны: скелетную вместе со сферолитовой и полукристаллическую. Сплав первой минералогической зоны подразделяется на две подзоны: 1-ую, состоящую из сферолитов, из волокон оливинового вещества и окислов железа между сферолитами (редко между сферолитами стекло), и 2-ую, состоящую главным образом из тонкой магнетитовой пыли, благодаря которой сплав кажется непрозрачным, и тонких скелетов оливина, местами переходящих в микролиты. Образование такого обильного магнетита обусловлено сильно окислительной атмосферой: кислород воздуха диффундирует сквозь земляную форму и окисляет имеющееся в расплаве железо. Сильная пористость сплава этой зоны обусловлена, с одной стороны, диффузией воздуха сквозь земляную форму и, с другой стороны, воздухом, вытесняемым текущим расплавом из изложницы.

Вторая минералогическая зона, в которую входят все четыре разновидности полукристаллической структуры, характеризуется оливином, стеклом в разных разновидностях, несколько колеблющимся по составу **, и магнетитом. Оливин всех разновидностей имеет одинаковый состав ***, отличаясь лишь размерами. Количество магнетита неодинаково (см. описание отдельных структур). В зависимости от количеств магнетита и оливина меняется соответственно состав стекла.

В результате изучения распределения структур в теле отливки муфты мы ясно видим, что основным фактором, обусловливающим это распределение, являются условия охлаждения.

Наибольшая скорость охлаждения в рассматриваемой отливке имеет место у поверхностей охлаждения. Здесь встречены структуры, характерные для быстрого охлаждения (сферолитовая со стеклом, тонко-скелетная, пропитанная магнетитовой пылью).

Непосредственно примыкающая к первой — зона, в которой сплав в момент заливки соприкасался не со стенкой формы, а с первым слоем, имеет структуру, указывающую на несколько более медленную отдачу тепла.

---

* Таблицы оливина несколько больше, чем в зонах среднесетчатой структуры.

** Измерение стекол благодаря тонкому пропитыванию магнетитом и оливином представляется чрезвычайно неточным. Удалось получить такие величины:

Стекло в участке крупносетчатой структуры $n = 1{,}590 \pm 0{,}005$

„ „ „ тонкосетчатой „ $n = 1{,}565 \pm 0{,}006$

*** Для оливинов всех структурных разновидностей кристаллооптические исследования дали следующие результаты:

1) $2V \pm$ большой; 2) $N_g = 1{,}694 \pm .002$; $N_p = 1{,}662 \pm .002$; 3) $N_g - N_p = 0{,}032$.

Третья зона имеет структуру полукристаллическую, сходную со структурой основной массы эффузивных пород. Охлаждение в этой зоне шло еще медленнее, чем в предыдущей.

Четвертая структурная зона находилась в условиях еще более медленного охлаждения. И, наконец, в наиболее благоприятных для роста кристаллов условиях находилась центральная зона отливки, наибольшая.

Языкообразный контур крупносетчатой структуры в стенке отливки, противоположной литнику, очевидно, обусловлен способом заливки, т. е. расплав, поступая в этом участке с двух сторон, вытеснил несколько подогретый воздух и создал условия почти такие же, как в зоне четвертой, на что указывает аналогичная структура.

Объяснить условиями охлаждениа метельчатую разновидность покамест не представляется возможным.

Настоящая работа, имеющая чисто описательный характер, является одной из первых попыток петрографического изучения структур в отливках каменного литья как геологических тел или как отливок металлических сплавов. Такое изучение необходимо связать с точными данными об условиях проведения эксперимента (например, скорость охлаждения и влияние ее на образование той или иной структуры), что является основным моментом в плане будущих работ.

SUMMARY

The paper describes the distribution of structures and the mineralogical composition in the castings which have been made from a melt of Ropruchey diabase and Segozersk picrite in the form of muffs (couplers).

There are stated some considerations concerning the interdependence between the structures and the thermal regime.