

Процессы, происходящие при плавке и литье металлов

Основные процессы при плавке

- *Нагрев, расплавление, перегрев металла*
- *Испарение и кипение*
- *Взаимодействие с атмосферой*
- *Взаимодействие с футеровкой*
- *Взаимодействие с флюсами и шлаками*
- *Рафинирование*
- *Модифицирование*

Испарение и кипение

Испарение – улетучивание металла с поверхности расплава

Кипение – образование паров металла во всем объеме расплава

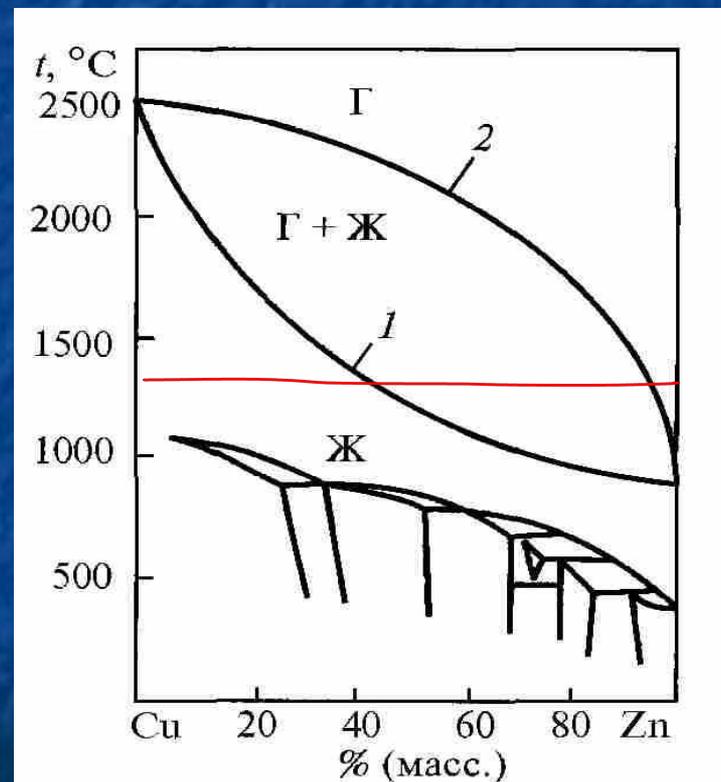
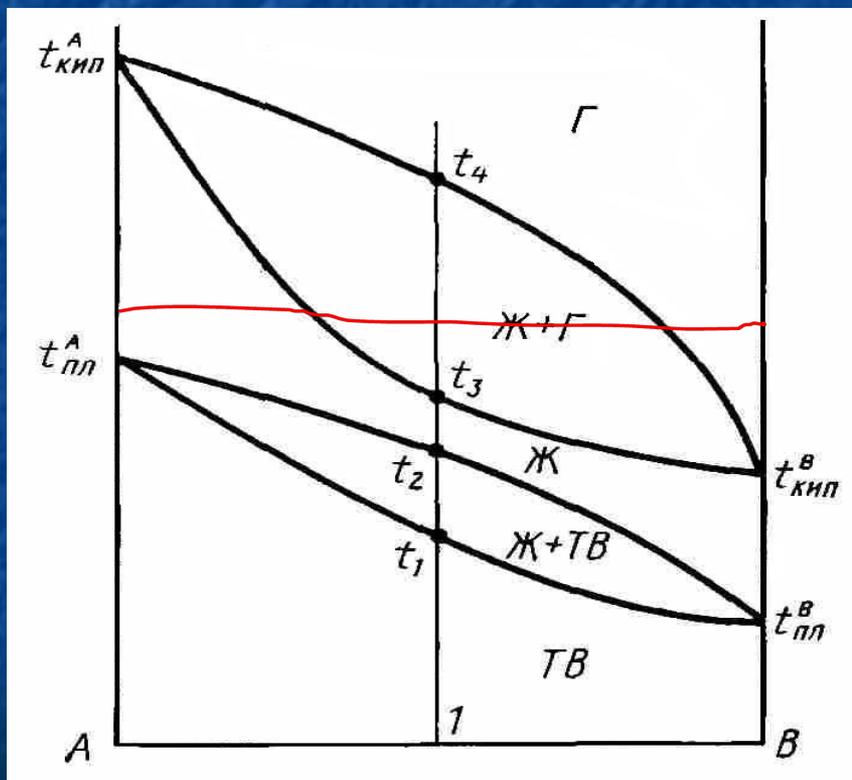
Скорость испарения при плавке

$$V = k (p^0 - p^{\wedge}) / p_{\text{общ}}$$

*Количество испарившегося металла
(закон Дальтона)*

$$M = k S (p^0 - p^{\wedge}) \tau / p_{\text{общ}}$$

Кипение сплавов, содержащих легколетучие компоненты



Предотвращение испарения и кипения

- *Применение лигатур*
- *Использование закрытых сосудов*
- *Уменьшение удельной поверхности расплава*
- *Минимальное время выдержки расплава*
- *Использование покровных флюсов*
- *Использование присадок для создания прочных пленок окислов*
- *Малые перегревы*
- *Увеличение внешнего давления*

Взаимодействие металлических расплавов с газами

Источники образования газов при плавке

- ✓ Газы, образующиеся от сжигания топлива
- ✓ Газы, образующиеся за счет влаги, содержащейся в футеровке печи, на плавильных инструментах и т.д.
- ✓ Газы, образующиеся вследствие разложения влаги и продуктов коррозии шихты
- ✓ Газы, образующиеся вследствие адсорбирующего действия шлака
- ✓ Атмосфера (естественная или намеренно созданная)

Взаимодействие металлических расплавов с газами

- *Отсутствие какого-либо физико-химического взаимодействия (инертный газ может замешиваться в расплав в виде пузырьков)*

Плавка в среде инертных газов, плавка меди и цинка в атмосфере чистого азота

- *Образование химических соединений металл – газ при полном отсутствии растворения газа в металле*

Взаимодействие жидких и твердых Sn, Zn, Mg, Al с кислородом

- *Растворение газа в металлическом расплаве*

Взаимодействие жидких Mg и Al с водородом

- *Растворение газа в металлическом расплаве с последующим образованием соединений*

Плавка Cu, Ni, Fe в атмосфере, содержащей кислород

Растворимость двухатомных газов в металлах

Закон Сивертса

$$[S] = k \sqrt{p}$$

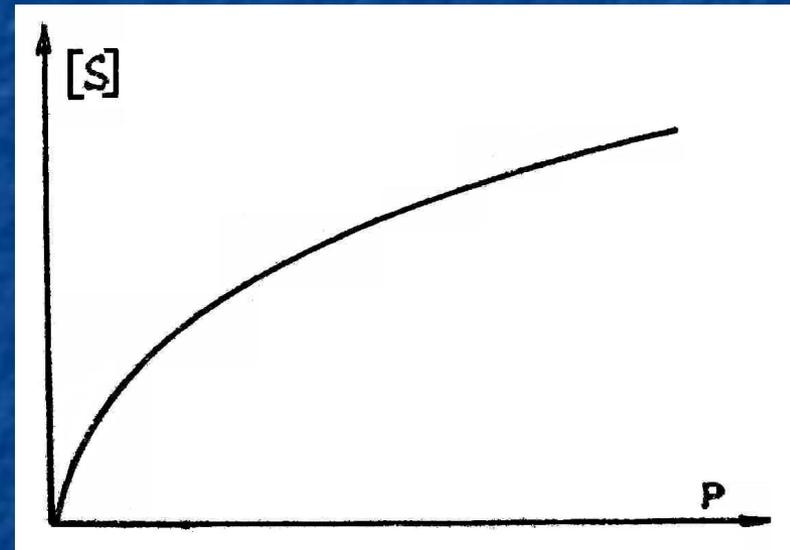
Строго справедлив при давлении газа до 10 МПа

Закон Борелиуса

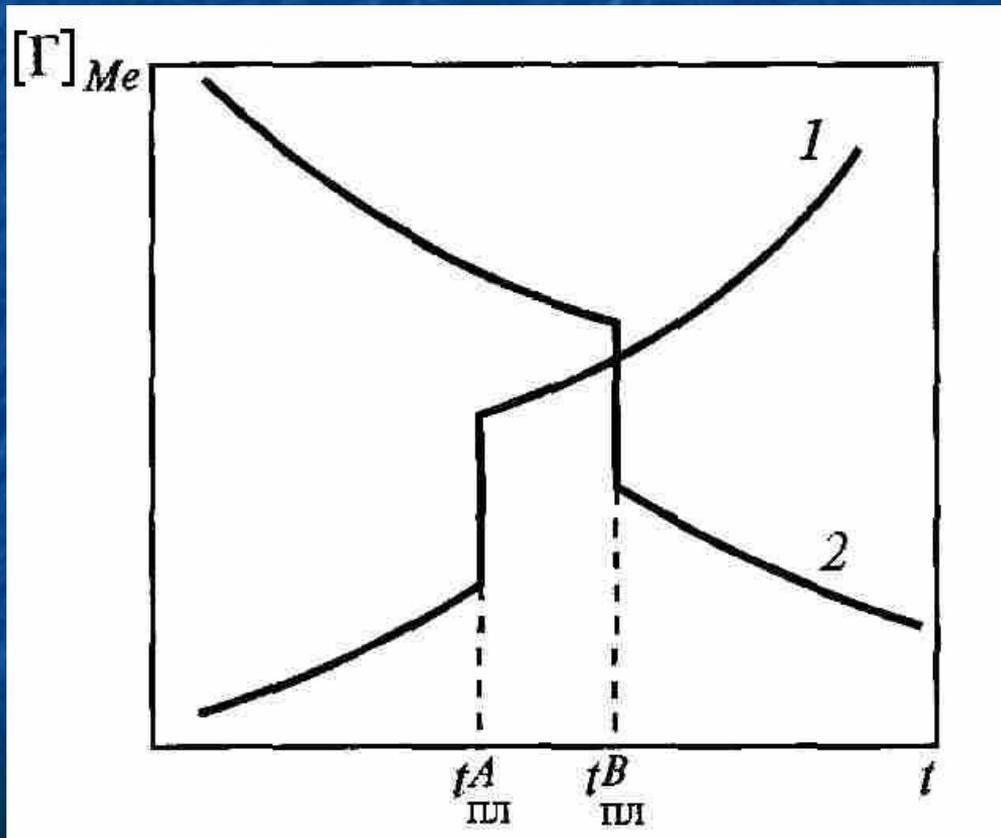
$$[S] = A_0 \exp(-Q / RT)$$

Общее уравнение

$$[S] = A \sqrt{p} \exp(-Q / RT)$$



Содержание растворенного газа в металле в зависимости от температуры при постоянном давлении



$$1 - Q > 0$$

(эндотермический)

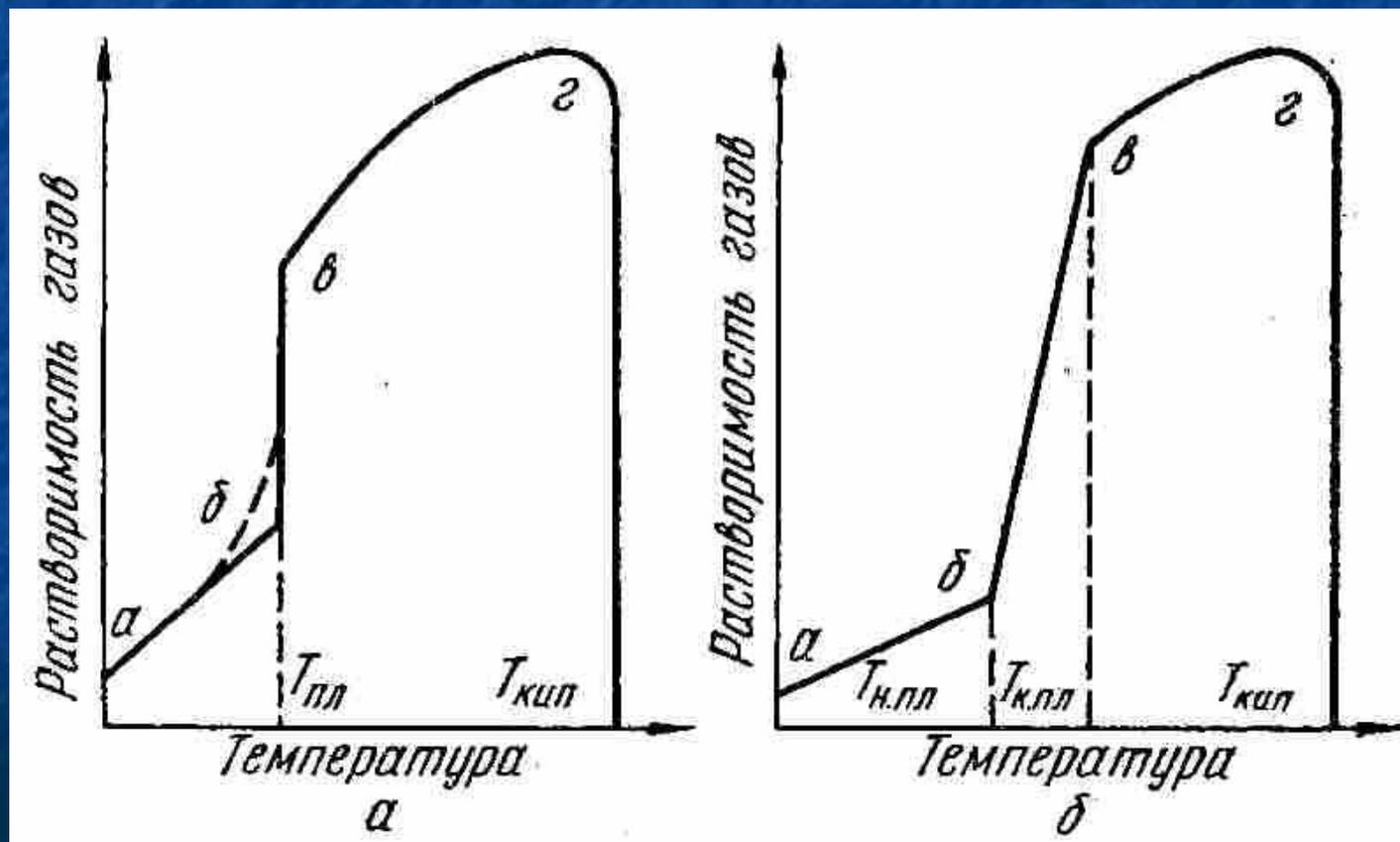
$$2 - Q < 0$$

(экзотермический)

1 – водород в Al, Mg, Cu, Ni, Fe
азот в Ni, Fe

2 – водород в Ti, Zr и т.др

Растворимость газа в металлах (а) и в сплавах (б) в зависимости от температуры нагрева



Взаимодействие металлов с газами и газообразующими элементами

Газ или элемент	металл											
	Sn	Pb	Zn	Mg	Al	Cu	Mn	Ni	Fe	Ti	Cr	Mo
Водород	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Кислород	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Азот	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Углерод	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Сера	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: знак «+» указывает на существенную растворимость в жидком металле, знак «-» - на незначительную.

Взаимодействие жидких металлов с водородом

30-100% общего количества растворенных газов в металлах и сплавах составляет **водород**

Источники водорода в расплавах

- влага, содержащаяся в атмосфере печи
- влага, содержащаяся в шихте, флюсах, продуктах сгорания топлива
- углеводороды

Способность расплавов металлов растворять водород

Hg Sn Bi Cd Pb Zn – не образуют растворов с водородом

Mg Al Ag Au Cu Mn Ni Fe – растворяют водород в практически значимых количествах;

взаимодействие с поглощением тепла

Ti V Mo щелочные и щелочно-земельные – взаимодействие с выделением тепла

Содержание растворенного водорода при температуре кристаллизации ($\text{см}^3/100 \text{ г}$)

Металл	Mg	Al	Cu	Ni	Fe
Температура, °C	650	660	1083	1455	1539
Твердый металл	20	0,05	3	20	12
Жидкий металл	30	0,7	5	40	24

Взаимодействие жидких металлов с кислородом

Sn Bi Cd Pb Zn Mg Al –

не способны растворять
в расплаве кислород

Ag Cu Mn Ni Fe Ti V Mo –

растворяют значительное количество
кислорода в расплаве, после чего
начинается образование
соответствующих оксидов

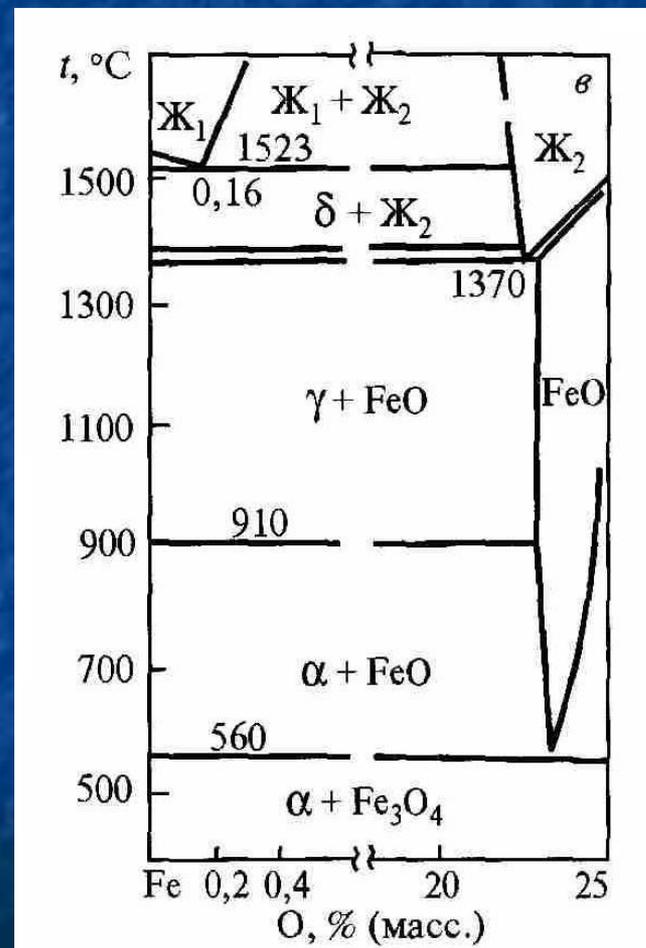
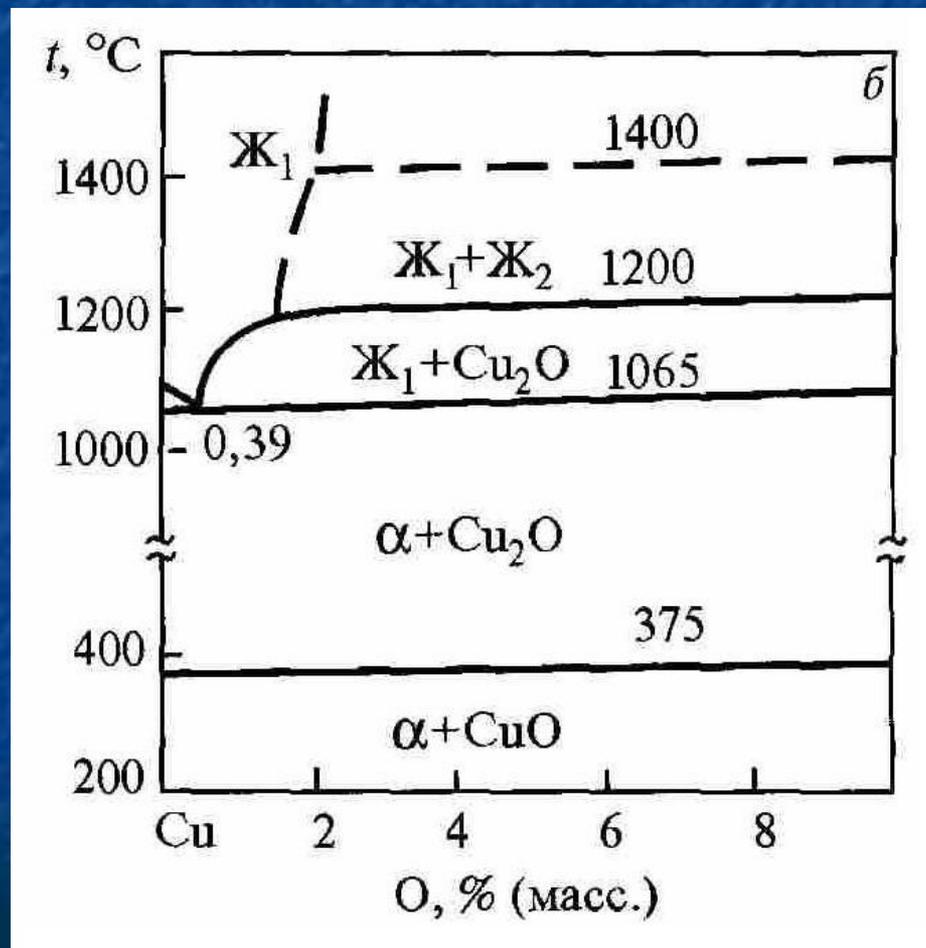
Образование на поверхности расплава свободных оксидов

$V_{\text{Me}} \approx V_{\text{ок}}$ – нарастает сплошной слой оксида (защита)

$V_{\text{Me}} > V_{\text{ок}}$ – надрывы и трещины в слое оксида (защиты нет - Mg)

$V_{\text{Me}} < V_{\text{ок}}$ – складки и трещины в слое оксида (защита снижена)

Взаимодействие жидких металлов с кислородом



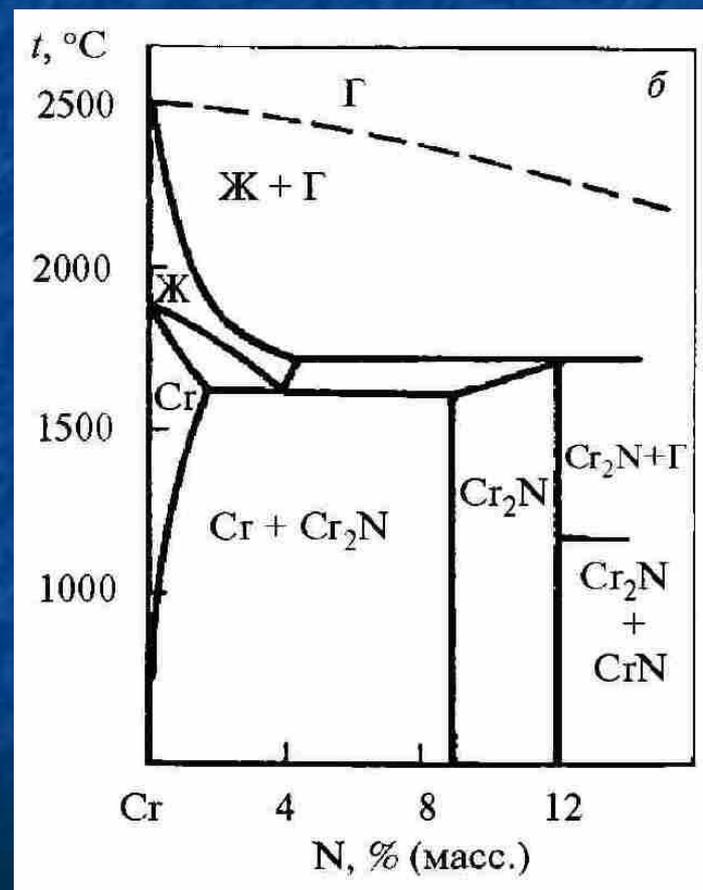
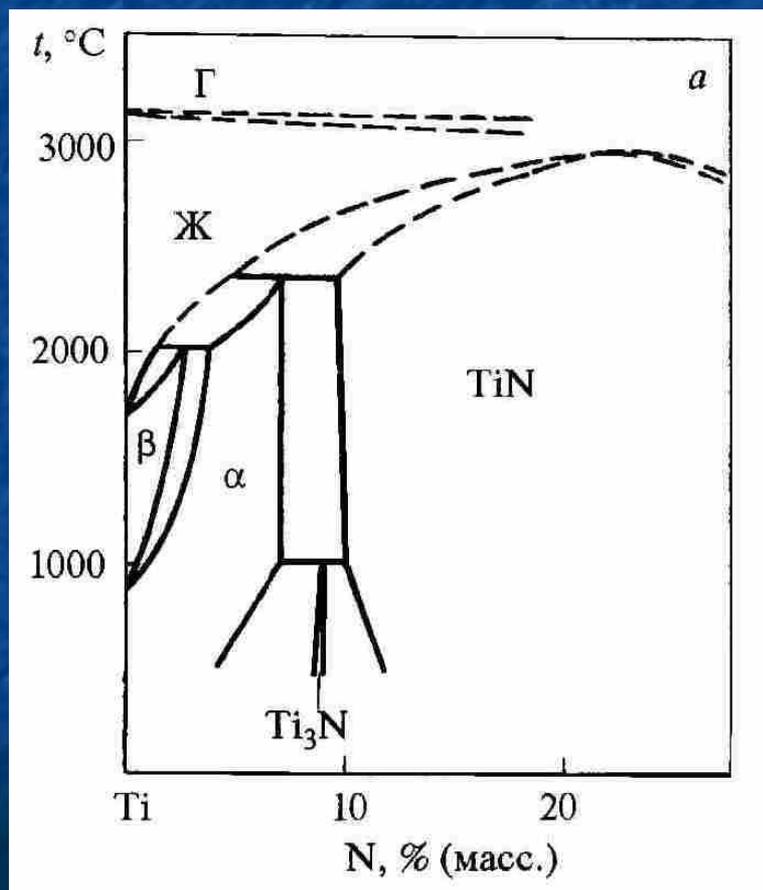
Взаимодействие жидких металлов с азотом

Sn Bi Cd Pb Zn Mg Al Ag Au Cu –
растворение практически
отсутствует

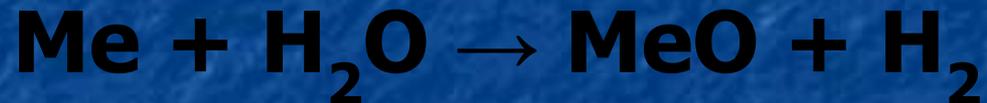
Mn Ni Fe – растворимость по закону
Сивертса, растворение с
поглощением тепла

Ti V Mo – растворение с выделением
тепла

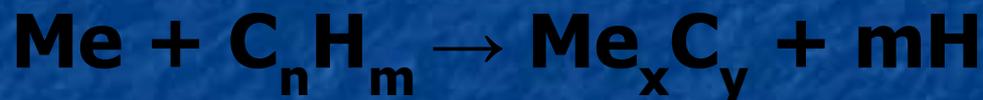
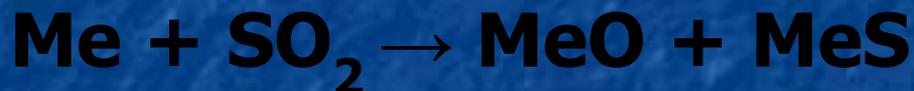
Взаимодействие жидких металлов с азотом



Реакции взаимодействия металлов со сложными газами



Реакции взаимодействия металлов со сложными газами (продолжение)



Взаимодействие расплавов металлов с газами

- Металлы 4 – 6 групп интенсивно взаимодействуют с газами с образованием химических соединений, растворяющихся в них и образуют с газами растворы
- Для Al, Mg, Cu, Ag, Co, Ni характерно образование растворов с водородом и химических соединений с кислородом. Менее интенсивно взаимодействие с азотом, SO₂, CO₂
- Au, Pt, Sn, Pb или вовсе не взаимодействуют с газами или взаимодействуют с малой скоростью

Влияние газов на качество ОТЛИВОК

- Газы выделяются в процессе кристаллизации, что объясняет газовую пористость
- Газы изменяют вязкость расплава
- Газы мешают питанию отливок, т.к. проникают в усадочные поры и повышают в них давление