

**Г. Закс**

# **Практическое металловедение**

## **Часть 3. Термическая обработка**

**Москва**  
**«Книга по Требованию»**

УДК 66.0  
ББК 35  
Г11

Г11      **Г. Закс**  
Практическое металловедение: Часть 3. Термическая обработка / Г. Закс – М.: Книга по Требованию, 2023. – 222 с.

**ISBN 978-5-458-43377-8**

**ISBN 978-5-458-43377-8**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2023  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.





## ПРЕДИСЛОВИЕ

Третья и последняя часть моего сочинения «Практическое металловедение» затрагивает вопрос об улучшаемых сплавах.

Свойства таких технических металлов и сплавов, включая сюда и железо, в которых фазовые превращения происходят в твердом состоянии, с возможной полнотой обсуждаются во 2-й главе.

В первой главе излагаются общие закономерности фазовых превращений и связанные с этим изменения свойств. Для наиболее полного понимания этих последних необходимо было привлечь все новейшие данные кристаллофизических исследований, особенно же полученные с помощью рентгенографического анализа. Однако мы сделали попытку так осветить все эти взаимоотношения, чтобы для понимания их не были обязательны специальные познания в этой области. Напротив, совершенно необходимо знакомство с общим металловедением в основных чертах.

В приложении д-р А. Куссман очень подробно остановился на магнитных свойствах металлов и сплавов.

Включение этой главы в данную часть практического металловедения объясняется тем, что с давних пор закалка сталей, а в последнее время и процессы выделения и превращения играют большую роль в учении о магнетизме и его практических приложениях.

Форма отдельной статьи избрана потому, что магнитные свойства являются решающими для применения соответствующих сплавов, и потому, что знакомство с ними далеко не так распространено, как с другими свойствами металлов.

Я глубоко благодарен д-ру-инж. Гёлеру, уполномоченному по патентам Гейне, и д-ру Шойеру за чтение корректур 3-ей части, а также фрейлейн Шульц за изготовление нескольких фотоснимков и микрофотографий. За предоставление мне оригиналов рисунков я должен принести свою благодарность д-ру инж. Г. Манну, Берлин-Адлерсгоф и д-ру инж. Ф. Дёрге, Дюрен.

Заканчивая свою работу, я хотел бы указать на ту службу, которую мне сослужил в ознакомлении со специальной литературой. «Journal of the Institute of Metals» с его обширным разделом рефератов.

**Г. Закс**

Франкфурт/М.  
Январь 1935 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Термическая обработка в узком смысле слова состоит в том, что материал подвергается изменениям температуры, которые вызывают в нем фазовые и структурные изменения, допускающие многократные повторения. Параллельно с этими изменениями происходят и сильные изменения свойств, которые могут быть устранены также путем одной только вариации температуры.

Термическая обработка представляет сравнительно простой технологический процесс, который с давних пор изучен на стали, тем не менее мы очень поздно научились применять этот процесс с действительной и всесторонней пользой. Только изобретение дуралюмина дало толчок последовательному изучению фазовых превращений, которые были обнаружены в чрезвычайно большом количестве сплавов. Исследования, производившиеся в этой области, обеспечили огромные успехи металлургической техники последних десятилетий, и успехи эти, повидимому, не исчерпаны. С каждым годом наука открывает все новые сплавы, свойства которых могут быть улучшены путем определенной термической обработки. Из достижений последних лет укажем на некоторые сплавы, часть которых получила быстрое и широкое распространение: алюминиевые сплавы гидулин (сплавы RR) и силумин-гамма (в литом виде), облагораживаемые магниевые сплавы, медные сплавы с никелем и оловом и с никелем и алюминием (куниаль), хромоникелевые сплавы с присадками титана, упрочняемые магнитные сплавы и т. д.

В этой области металлостроения, как ни в какой другой, практические и теоретические исследования шли вперед всегда параллельно. На производстве опробовались многие системы сплавов, и как только какие-нибудь их положительные особенности обращали на себя внимание, во многих случаях для дальнейшего их усовершенствования удавалось находить целесообразные методы термической обработки.

Из этого следует, что всем интересующимся термически обрабатываемыми сплавами будет полезно широкое знакомство с целым рядом относящихся сюда явлений. Это касается как особенностей каждого отдельного сплава, так равным образом и принципиальной зависимости структуры и свойств от состава сплава и условий его производства. Поэтому в нашем изложении мы стремились дать по возможности полное освещение всех надежных данных в области термической обработки сплавов, причем в таком объеме, в каком они кажутся нам полезными для практической работы с этими сплавами.

## **А. ОБЩИЕ ЗАКОНЫ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ**

### **ЗНАЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

#### **1. Фазовые превращения и промежуточные состояния .**

Чистые металлы и в еще большей степени сплавы подвержены значительным и разнообразным изменениям в твердом состоянии, весьма сильно влияющим на их свойства.

Диаграммы состояний сплавов, на которых мы основываемся при решении всех вопросов, касающихся структуры и свойств этих сплавов, сами по себе сообщают нам лишь сведения о состояниях равновесия при каждой данной температуре. При высоких температурах равновесные состояния устанавливаются сравнительно быстро, по крайней мере в материале, претерпевшем глубокую деформацию давлением (прокатываемый материал), который и будет нас главным образом интересовать в дальнейшем. При более низких температурах большинство изменений в твердом состоянии частично или полностью задерживается, что часто ведет к своеобразным явлениям, до сих пор не поддающимся исчерпывающему объяснению.

Возникающие при этом изменения свойств играют для металлостроения большую роль в двояком отношении: во-первых, при помощи сравнительно быстрого охлаждения часто оказывается возможным фиксировать такие состояния, которые сами по себе устойчивы только при высокой температуре. Наиболее общепринятым и эффективно действующим средством для этого является закалка при охлаждении в холодной воде. В некоторых сплавах фазовые превращения протекают настолько вяло, что они могут не наступить уже при обыкновенном охлаждении на воздухе. Наиболее типичные примеры полной задержки фазовых превращений могут представить нержавеющие хромоникелевые стали и 18-каратные сплавы золота и меди. Первые обладают особенно хорошими химическими и механическими свойствами, а вторые хорошо поддаются обработке только в этом состоянии.

Однако более часты случаи, когда состояние, устойчивое при высокой температуре, сохраняется лишь частично, или когда налицо имеется состояние, повидимому, устойчивое при низкой температуре, но наделенное совершенно другими свойствами, чем те, которых от него следовало бы ожидать.

В одних случаях эти явления носят характер вредной аномалии, вызываемой тем, что фазовое превращение, несмотря на самое резкое

охлаждение, не может быть задержано полностью. или тем, что превращение, полностью задержанное вначале, с течением времени все же постепенно происходит. Примером этого может служить выделение карбидов в нержавеющих сталях.

В других случаях эти явления более или менее преднамеренно используются для улучшения материала, приобретающего при этом такие свойства, которые недостижимы иными путями. Такое улучшение (*Vergütung*), возможное для очень большого числа сплавов, приобретает все большее практическое значение.

Для большей наглядности мы еще раз перечислим три основных случая, в которых превращения в твердом состоянии имеют большое значение для металлургической техники:

1. Использование при комнатной температуре благоприятных свойств состояний, устойчивых при высоких температурах.
2. Появление вредных аномалий в результате неполных фазовых превращений, течение которых не поддается регулированию.
3. Улучшение сплавов путем получения особо благоприятных свойств в результате преднамеренного регулирования процесса фазовых превращений и достижения соответствующих промежуточных состояний.

Строение и свойства материала с полностью задержанным фазовым превращением можно предвидеть, исходя из диаграммы состояний. При этом с точки зрения старой термодинамики состояние сплава прежде всего характеризуется его составом и количеством имеющихся в нем фаз. По диаграмме состояний мы узнаем, какое состояние является устойчивым (стабильным) при определенной температуре. Если мы выдержим сплав при этой температуре до тех пор, пока не будем уверены, что он приобрел соответствующее состояние, и после этого охладим его достаточно быстро, то мы, возможно, заставим сплав сохранить это состояние.

Мы сможем в некоторой мере предсказать и свойства этого состояния, так как оно точно такое, как если бы на диаграмме состояний не было указано никаких фазовых превращений. Если, например, известны сплавы, очень близкие к изучаемому, то свойства этого последнего могут быть предсказаны путем экстраполяции. Так, беря за основу никель, кристаллизующийся с образованием кубической гранецентрированной решетки, можно точно проследить изменения, вызываемые присадками железа и хрома вплоть до сплавов с составом, близким к нержавеющей стали. При экстраполяции для данного состава мы получаем как раз те свойства, которые фактически имеет настоящая нержавеющая сталь, получаемая лишь путем фиксации твердого раствора при закалке.

Во многих других сплавах фазовые превращения, как упомянуто выше, не могут быть полностью задержаны. Достигается задержка превращения или нет и каков характер состояния, достигнутого в последнем случае, об этом диаграмма состояний не дает нам представления. Наиболее простое предположение, что мы имеем здесь наличие обоих состояний с соответствующими свойствами, как нам теперь известно, оправдывается лишь в немногих, большей частью технически неинтересных случаях. С другой стороны, для дальнейшей обработки давлением часто выгодно по возможности приблизиться путем длительного отжига к этому состоянию, так как в других случаях имеющиеся аномалии ухудшают способность к обработке.

Строение и свойства, которые получаются путем преднамеренной дополнительной обработки материала, характеризуемого полной задержкой фазовых превращений, также никоим образом нельзя вывести из диаграммы состояний. Таким образом во многих случаях данные о фазах, их количестве, величине и расположении недостаточны для характеристики сплава.

Большое практическое значение фазовых превращений основывается как раз на том, что при этом возникают свойства, значительно отличающиеся от свойств обычных фаз диаграммы состояний. В настоящее время объясняют это тем, что большинство фазовых превращений ведет к образованию особых промежуточных состояний, которые являются носителями этих особенных свойств<sup>1</sup>.

Фазы и пространственные решетки, свойственные этим промежуточным состояниям, пока не поддаются подробному описанию и характеристике; повидимому, для одного и того же сплава в зависимости от его обработки они могут быть весьма различными.

Характерным признаком всех промежуточных состояний является, следовательно, то обстоятельство, что их свойства не могут быть выведены из свойств составных частей сплава и равновесных состояний, соответствующих диаграмме. Наоборот, все они без исключения отличаются какими-нибудь особыми механическими, химическими и физическими свойствами. Эти последние можно, правда, свести в относительно простую систему. Сами промежуточные состояния гораздо многочисленнее и разнообразнее, чем полагали раньше, основываясь на диаграммах состояний и известных кристаллических структурах сплавов. Только благодаря тому что в последние годы очень точно исследована значительная часть практически интересных сплавов, в настоящее время можно внести известный порядок в эту область металловедения. Понять свойства сплавов, вызванные фазовыми превращениями, и в полной мере использовать их можно лишь на основе знакомства с общими закономерностями этих процессов.

## 2. Фазовые превращения в сплавах

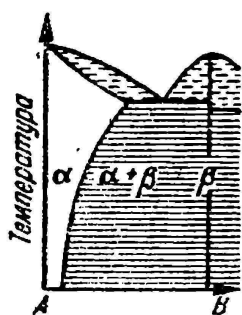
Мы знаем большое количество изменений в твердом состоянии, выходящих на первый взгляд очень различными. Между переводом стали в закаленное (gehärtet) состояние и улучшением дуралюмина нет заметно особого сходства ни в особенностях состояния, ни в достигаемых свойствах. Однако исследования, вызванные к жизни открытием процесса улучшения дуралюмина и выяснением его причины, обнаружили большое количество сплавов, которые как в отношении диаграммы состояний, так и в отношении изменения свойств (при термической обработке) смогут составить почти непрерывную шкалу.

Что касается диаграмм состояний, то обычно мы различаем по ним три основных случая фазовых превращений: 1) процессы выделения (Ausscheidungsvorgänge); 2) процессы превращения, включающие как предельный случай превращения чистых металлов (на которых мы пока не будем подробно останавливаться), и 3) процессы эвтектоидного распада.

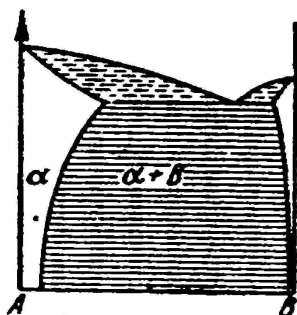
<sup>1</sup> Sachs G., Erg. techn. Röntgenkde, Bd. 2, S. 251—261, 1931; Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr. Inst. Met. Div., p. 39—50, 1931; Z. f. Metallkde, Bd. 24, S. 241—248, 1932. — Dehlinger U., Erg. Exakt. Naturwis., Bd. 10, S. 325—386, 1931. — Wirtsch., Bd. 12, S. 207—210, 1933.

Хотя это деление, как признано в настоящее время, не играет уже больше решающей роли в отношении изменения свойств, связанного с изменением состояния, при систематическом изложении оно все же сохраняет для нас руководящее значение.

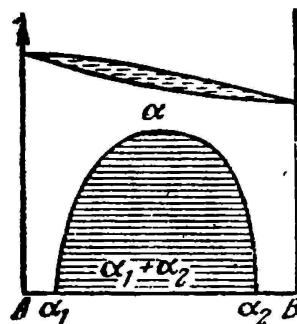
Собственно процессы выделения представляются на диаграмме состояний в одной из форм, изображенных на фиг. 1—3. Наиболее



Фиг. 1. Выделение промежуточной фазы.



Фиг. 2. Выделение одной пограничной фазы из другой.

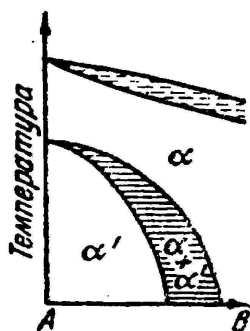


Фиг. 3. Распад непрерывного ряда твердых растворов на два с ограниченной растворимостью.

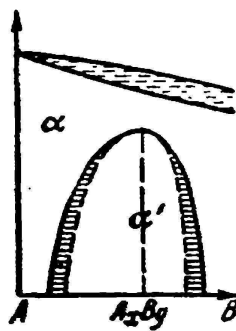
Фиг. 1—3. Основные случаи процессов выделения.

частым случаем является выделение промежуточной фазы или β-соединения из α-твердого раствора, граничащего с чистым веществом A<sup>1</sup> (фиг. 1).

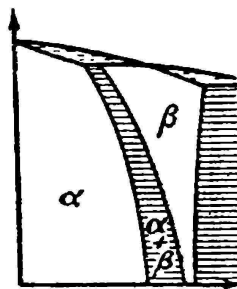
Реже случается, чтобы выделения состояли из другого чистого вещества B или граничащего с ним твердого раствора (фиг. 2). Это



Фиг. 4. Превращение чистого вещества в примыкающими твердыми растворами.



Фиг. 5. Превращение твердого раствора стехиометрического состава.



Фиг. 6. Превращение двух различных фаз одной в другую.

Фиг. 4—6. Основные случаи превращений.

имеет место в медносеребряных, а также некоторых низкоплавких сплавах. Такая диаграмма состояний находится в очень тесной связи с выделением или распадом непрерывного ряда α-твердых растворов на два насыщенных α₁- и α₂-твердых раствора (фиг. 3).

До сих пор известны две системы этого рода: золото — никель и золото — платина.

<sup>1</sup> Греческие буквы в металловедении употребляются с различными значениями. Единство в этом отношении в настоящее время едва ли достижимо.



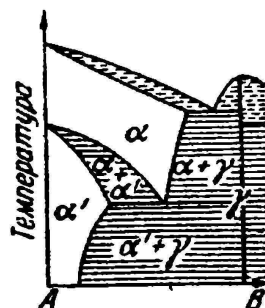
Из процессов превращения наипростейшим является переход  $\alpha$ -твердого раствора в  $\alpha_1$ -твердый раствор (фиг. 4). Этот процесс включает как частный случай и превращение чистого вещества. Ряд важных железных сплавов, в особенности никелевые стали, обнаруживает подобное фазовое превращение ( $\gamma \rightarrow \alpha$ )<sup>1</sup>. Превращение может претерпевать также  $\alpha$ -твердый раствор среднего состава, например  $\alpha_1 = A_2B_1$ . Насколько мы пока можем об этом судить, такое превращение, встречающееся особенно часто у многих сплавов благородных металлов, всегда протекает так (фиг. 5), что в результате возникает новая  $\alpha_1$ -фаза, с широкой областью существования, которая отделена от  $\alpha$ -твердого раствора, повидимому, узкими полосами гетерогенного состояния. Однако область таких превращений до сих пор совершенно неясна. В качестве явления, обратного описанному, можно рассматривать превращение промежуточной  $\beta$ -фазы (фиг. 6) в  $\alpha$ -твердый раствор — случай, имеющийся при  $\beta$ -латуни.

Если мы представим далее, что  $\beta$ -область, как это показано на фиг. 8, оканчивается при определенной температуре, то мы будем иметь эвтектоидный распад, который особенно подробно исследован на медных сплавах. Но и  $\alpha$ -твердый раствор может распадаться с образованием эвтектоида (фиг. 7), что и случается с углеродистой сталью. В эвтектоидном распаде в стали всегда принимает участие еще третья фаза ( $\gamma$ ).

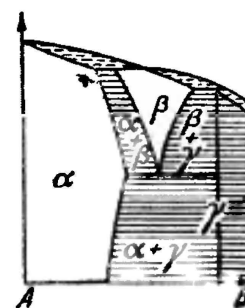
В этой системе мы видим переход от превращения при малых концентрациях к эвтектоидному распаду при более высоких. Кроме того, при всех процессах превращения встречаются составы, при которых происходит лишь процесс выделения. Мы можем, таким образом, тщательно изучая различные системы на фиг. 1—8, обнаружить у них родственные черты.

### 3. Влияние малых количеств примесей на фазовые превращения

В большинстве технических сплавов кроме основного металла и одной и более составных частей, определяющих фазовые превращения, имеются еще малые примеси, присутствующие частью как неизбежные загрязнения, частью как примеси, намеренно введенные с целью улучшения каких-нибудь свойств. Как правило, нужно считаться с тем, что такие примеси в известной мере влияют на фазовые превращения, несмотря на то, что подобное их влияние обычно не предусматривается и трудно поддается учету. Очень редко примеси, например свинец в латуни, внедряются в основную массу, не взаимодействуя с остальными составными частями и позволяя а priori утверждать, что



Фиг. 7. Эвтектоидный распад с превращением чистого вещества.



Фиг. 8. Эвтектоидный распад промежуточной фазы.

Фиг. 7 и 8. Основные случаи эвтектоидного распада.

<sup>1</sup> См. примечание на стр. 12

они не будут оказывать значительного влияния на сплав. Подобно сказанному сравнительно ясно также действие примесей, которые повышают твердость и прочность, не изменяя сколько-нибудь значительно прочих свойств. Это, как правило, те вещества, которые входят в основной твердый раствор и повышают его твердость.

Лишь немногим отличается от этого случая упрочнение сплавов прочими примесями, которые хотя и вызывают особые процессы выделения, однако по своему размеру эти процессы едва ли могут иметь серьезное значение. Так, в случае марганца, известного своим действием на повышение твердости и прочности улучшаемых алюминиевых сплавов (ср. разд. 38), до сих пор неясно, проявляется ли это действие уже при образовании твердого раствора марганца, или только в процессе выделения при старении. Впрочем, такая дифференциация не имеет практического значения в том случае, когда действие примеси само по себе незначительно.

В большинстве случаев, однако, примеси влияют в той или иной форме на фазовые превращения и притом настолько значительно, что это становится уже практически важным. К сожалению, ряд таких примеров точно изучен лишь в последнее время, так что пока невозможно дать ясного и полного обзора всех имеющихся здесь взаимоотношений. Мы должны поэтому ограничиться перечислением лишь некоторых твердо установленных фактов.

В нержавеющей стали неизбежно присутствующий углерод вызывает весьма нежелательное фазовое превращение, а именно выделение мелкокристаллических карбидов, в том случае, если термическая обработка производилась недостаточно точно или если материал был повторно нагрет (ср. разд. 62). Карбиды вызывают весьма опасную межкристаллитную коррозию нержавеющей стали; при помощи присадок титана, циркона или гафния углерод настолько связывается в прочные карбиды, что больше не оказывает вредного действия.

Принципиально сходный случай мы имеем и при мягкой углеродистой стали. Здесь имеют место своеобразные явления хрупкости: старение (Alterung) и синеломкость (Blaubruchigkeit), которые могут стать весьма опасными, особенно для котельного железа (ср. разд. 57).

В последнее время их объясняют процессами выделения, происходящими особенно из-за наличия в стали кислорода. При раскислении стали преимущественно алюминием явления старения (Alterungserscheinungen) сильно ослабевают.

В дуралюмине железо, всегда имеющееся в исходном алюминии, задерживает процесс выделения (ср. разд. 38). Оно оказывает, следовательно, действие (в данном случае неблагоприятное), аналогичное действию намеренно введенных в сталь примесей и основывающееся быть может на связывании кремния. Для получения высококачественного дуралюмина необходимой предпосылкой является поэтому применение в качестве исходного материала сравнительно чистого алюминия (более 99,5%).

Сплавы, содержащие промежуточную фазу алюминия и цинка, неустойчивы (unbeständig), причем это относится как к алюминиевому литью с высоким содержанием цинка (ср. разд. 39), так и к цинковому шприц-литью с алюминием (ср. разд. 31). При помощи небольших присадок магния можно в значительной мере задержать старение (Altern) этих сплавов. Кадмий и свинец, напротив, действуют в этом отношении стимулирующе, поэтому в настоящее время для цинкового шприц-



литья употребляют преимущественно цинк, по возможности свободный от кадмия и свинца.

Золотоплатиновые, а также и золотопалладиевые сплавы улучшаются лишь при сравнительно высоком содержании платины и палладия (ср. разд. 52), однако с помощью небольших присадок цинка или железа может быть вызвано усиленное улучшение уже при сравнительно малом содержании платины и палладия. Объяснение этих поразительных явлений до сих пор не может быть дано, так как эти примеси сами по себе не ведут к фазовым превращениям.

#### 4. Термически обрабатываемые квазибинарные сплавы

Имеется ряд случаев, когда только третий компонент, имеющий сам по себе второстепенный интерес, ведет к практически существенным фазовым превращениям. При этом уже очень небольшие количества этого компонента могут оказывать сильное влияние.

Такой примесью для медных сплавов с содержанием никеля, а также кобальта, хрома и, может быть, железа является кремний в количестве 0.25—1% (ср. разд. 47). Бинарные сплавы совсем не улучшаются или улучшаются в слабой степени, однако в результате присадки кремния возникают фазы типа  $Ni_2Si$ , которые ведут к сильному упрочнению сплава (Aushärtung). Это последнее наступает в одинаково сильной степени и при значительном избытке никеля.

В алюминиевых сплавах имеется несколько фаз, которые принимают участие в процессах улучшения. Важнейшей из них является  $Mg_2Si$ ; наличие ее имеет решающее значение для улучшения ряда алюминиевых сплавов (ср. разд. 34 и след.). Напротив, практическое значение сплавов с  $MgZn_2$  и  $LiZn_2$ , присутствующих в качестве составляющих упрочнителей, невелико.

Свойства таких тройных сплавов определяются главным образом свойствами комбинаций  $Cu—Ni_2Si$  или соответственно  $Al—Mg_2Si$ . Так как точное исследование тройных систем очень сложно, то для многих целей является достаточным знать свойства соответствующих частей тройных систем, причем оказывается, что они в основном подобны бинарным системам. В то время как в случае обычной тройной системы происходят очень сложные фазовые превращения и образующиеся при процессах выделения фазы не могут быть заранее предусмотрены<sup>1</sup>, в таких квазибинарных сплавах мы имеем дело только с выделением одного соединения. Данная фаза (например  $Ni_2Si$ ) относится к основному веществу (например  $Cu$ ) во всех отношениях, как любой чистый металл.

Еще более напрашивается сравнение с бинарной системой такой системы, как  $Al—CuAl_2$ , охватывающей медноалюминиевые сплавы с содержанием меди от 0 до 67 атомных или примерно до 54 весовых процентов.

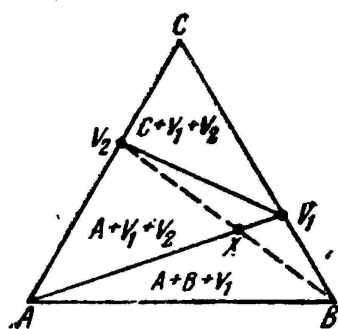
При ближайшем рассмотрении квазибинарная тройная система соответствует настоящей двойной системе еще и потому, что в ней могут возникать непрерывные ряды твердых растворов, если оба компонента имеют одинаковое строение решеток. Такой своеобразный случай был

<sup>1</sup> Cp. Scheil E., Z. f. Metallkde, Bd. 22, S. 297—302, 1930. — Mehl R. F. Barrett Ch. S. a. Rhines F. N., Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr., Inst. Met. Div., p. 203—233, 1932.

обнаружен у сплавов, состоящих из железа и фаз  $\text{NiAl}$  или  $\text{CoAl}$ <sup>1</sup>. Однако при этом дело обстоит особенно сложно потому, что хотя между компонентами, например  $\text{Fe}$  и  $\text{NiAl}$ , и имеются непрерывные области твердых растворов, но они обладают лишь известной шириной и охватывают не все квазибинарные сплавы, а частично захватывают и другие составы (т. е. содержат больше никеля или алюминия, чем это соответствует составу  $\text{NiAl}$ ).

Существуют также квазибинарные системы из различных соединений, среди которых также имеют место непрерывные ряды твердых растворов, однако для термической обработки сплавов их изучение имеет подчиненное значение.

Заключение о том, содержит ли тройная система квазибинарную или нет, не может быть предварительно выведено из знакомства с бинарной системой. Если компонент квазибинарной системы является тройным соединением, то его состав может быть найден лишь из подробного рассмотрения соответствующей части диаграммы состояний тройной системы. Точное составление диаграмм состояния тройной системы очень затруднительно и требует особых теоретических построений<sup>2</sup>.



Фиг. 9. К применению метода Гюртлера.

Наоборот, сравнительно простой случай мы имеем тогда, когда в тройной системе встречаются несколько бинарных соединений. При двух таких соединениях  $V_1$  и  $V_2$  в тройной системе по фиг. 9 кроме квазибинарной системы  $V_1—V_2$  из обоих соединений может иметься

ещё только одна квазибинарная система — или  $A—V_1$ , или  $B—V_2$ . О том, какой из обоих разрезов имеется в действительности, можно с успехом определить по способу Гюртлера (Klärkreuzverfahren), используя для этого один единственный сплав<sup>3</sup>. Этот сплав находится в точке пересечения  $x$  обеих возможных квазибинарных систем  $B—V_2$  и  $A—V_1$ . Если известен вид фаз  $V_1$  и  $V_2$  по микроструктуре шлифа, что в данном случае достижимо путем исследования некоторых других сплавов на разрезах  $B—V_2$  и  $A—V_1$ , то возможно определить в микроструктуре сплава  $x$ -фазы  $V_1$  или  $V_2$ . В шлифе практически может встретиться лишь одна из обеих фаз, например  $V_1$ . Соответственно с этим может считаться доказанным наличие только квазибинарной системы  $A—V_1$ . Если дело идет не о настоящих квазибинарных системах, при которых соединения  $V_1$  и  $V_2$  устойчивы вплоть до плавления, то описанный метод Гюртлера не всегда дает ясное решение и тогда нужно подробно исследовать всю систему обычными методами<sup>4</sup>.

О поведении сплавов, сильно отклоняющихся от квазибинарного состава, можно в общем сказать лишь очень немного. В то время как, например, небольшая присадка магния к кремнеалюминиевым сплавам с любым содержанием кремния вызывает всегда очень сильный эффект улучшения, соответствующая присадка кремния к магнеалюминиевым

<sup>1</sup> Wever F. u. Jellinghaus W., Mitt. Kais.-Wilh. Inst. Eisenforsch., Düsseldorf, Bd. 13, S. 93—108, 1931. — Köster W., Archiv f. Eisenhüttenwesen, Bd. 7, S. 257—262, 263—264, 1933—1934.

<sup>2</sup> Cp. Masing G., Ternäre Systeme, Leipzig, 1933.

<sup>3</sup> Gürtler W., Met. u. Erz., Bd. 8, S. 192—295, 1920.

<sup>4</sup> Cp. Masing G., Ternäre Systeme, S. 56 f. Есть русский перевод.