

Кафедра «Металлические и деревянные конструкции»
курс «Металлические конструкции», 1 ч.

лекция № 3. «изготовление стали, свойства,
классификация»

Лектор ст. преподаватель кафедры «МиДК»
Крайнов Андрей Викторович

В независимости от способа получения (выплавки) стали, первоначальный загруженный на переплавку стальной лом или руды, доводят до начала плавления. При нагреве смеси, железо окисляется с кислородом и образует **оксид железа. При дальнейшем нагреве оксид железа отдаёт кислород более активным примесям, происходит их окисление и выделение в виде шлаков.**

При выплавке решается самая главная задача – **удаление вредных примесей. Часть примесей удаляется механически** (после всплытия окислённого шлака), **а часть приходится искусственно окислять,** добавляя, например, для фосфора оксид кальция (известь).

Во второй стадии массу доводят до кипения и вдуваемый кислород начинает окислять углерод (при этом железо уже «освободилось» от кислорода). Пузырьки оксида углерода всплывают на поверхность в месте с остатками неметаллических включений и частично выгорают. На этой стадии происходит уменьшение углерода в смеси.

На этом этапе производства сказывается способ получения стали: **мартеновский способ** даёт лучший результат, так как выгорание примесей происходит более лучше, а **конверторный способ** (бессемеровский или томасовский) в своей технологии применяет способ вдувания кислорода в смесь для окисления и в месте с воздухом в сплав попадает много газов, которые не полностью выгорают.

В расплавленном состоянии смесь состоит из атомов железа (**феррита**), небольшого количества атомов **углерода** и других химических элементов.

Сплав, в котором **количество углерода** находится в пределах от **2,14%** до **6,67%** называется **чугун**.

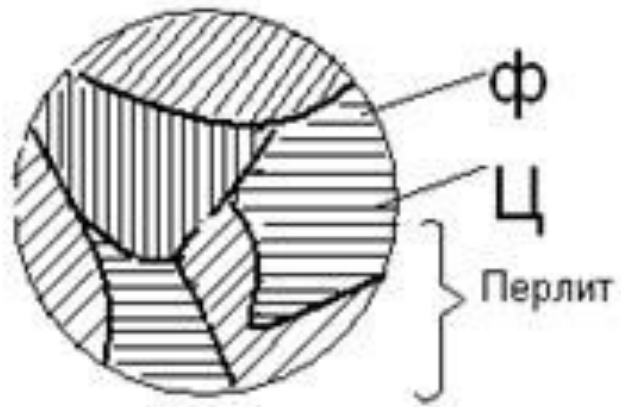
При выплавке стали железо образует кристаллы **феррита**. **Феррит** – это пластичный элемент, **обладающий небольшой прочностью** (до 250 МПа), но **обладающий большой пластичностью** (может удлиняться до 50%).

Небольшое кол-во углерода при сплавлении с железом образует **карбид железа** Fe_3C (или другое название **цементит**). У цементита большая прочность (до 1000 МПа), но он очень хрупкий и может удлиняться не более чем на 0,1-0,2%.

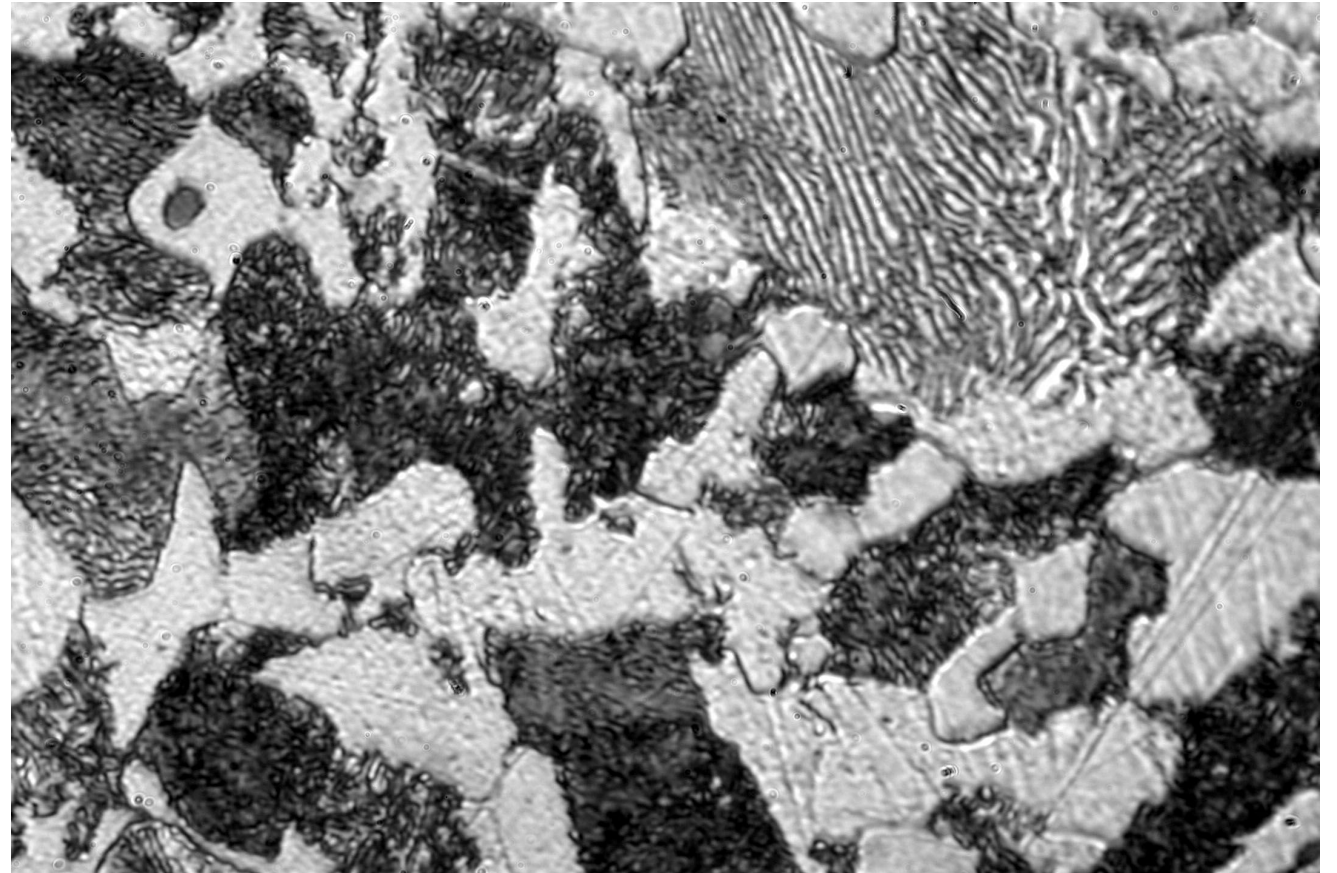
После выплавки стали, **при остывании** расплава до температуры **911 С**, образуется твёрдый раствор железа и углерода – **аустенит**. При остывании в расплаве начинается выделяться кристаллы чистого железа с выделением углерода. При дальнейшем остывании до **727 С** начинает образовываться смесь кристаллов феррита и цементита, которая называется **перлит** (с французского «жемчужина»). Смесь перлита занимает промежуточное значение по механическим свойствам между ферритом и цементитом и образует прочный состав, связывающий кристаллы феррита.

(не путать название ПЕРЛИТ со строительным материалом и удобрением!!!)

Полученный материал (сталь) состоит из множества кристаллов феррита и связывающего его перлита



Зерно перлита.
Феррит (светлые зерна),
Цементит + феррит = перлит
(тёмные зерна).



После выплавки и остывания смеси получается **сплав железа и углерода**, называемый сталь. Зная свойства этой смеси в металлургии получают сталь с заданными свойствами. В основном свойства регулируют долей углерода и введением (или выведением) других химических элементов. Например, увеличивая долю углерода в сплаве, увеличивается доля прочного перлита и увеличивается прочность стали. Но углерод в перлите не обладает пластичностью и сталь становится хрупкой.

При выплавке учитывают скорость охлаждения, которая влияет на размер зерна. При малых размерах при сохранении прочности можно увеличить пластичность материала.

Для строительства применяется сталь с низким содержанием углерода – до 0,22%. Такое низкое содержание углерода делает сталь пластичной, позволяет повысить свариваемость, повышает надёжность, сглаживает перепады напряжений в элементах и т.д.

Классификация стали по свойствам

По содержанию углерода стали делятся на:

1. Низкоуглеродистые (до 0,25%).

(Строительная сталь – малоуглеродистая, до 0,22%);

1. Среднеуглеродистые (от 0,25% до 0,6%);

2. Высокоуглеродистые (от 0,6 % до 2,14%).

Далее сплавы называют чугуны.

По прочностным свойствам стали условно делятся на три группы:

1. Обычная сталь $R_y < 300$ МПа

2. Сталь повышенной прочности $300 \text{ МПа} > R_y < 400$ МПа;

3. Сталь высокой прочности $R_y > 400$ МПа.

Классификация стали по свойствам

По химическому составу стали делят на **углеродистые** и **легированные** (с добавками):

- 1. Углеродистые** стали состоят из железа и углерода с небольшими добавками **кремния** (или **алюминия**) и **марганца**.
- 2. Легированные** стали кроме железа и углерода имеют в составе специальные добавки, придающие стали определённые свойства: повышают прочность, термостойкость, коррозионную стойкость и т.д.

По содержанию добавок (легирующих элементов) сталь делится на:

- 1. Низколегированная** (до 2,5%) (чаще всего применяются в строительстве);
- 2. Среднелегированная** (от 2,5% до 10%);
- 3. Высоколегированная** (более 10%).

Классификация стали по свойствам

В зависимости от способа получения, сталь содержит включения (химические элементы) делящую сталь по качеству:

- 1. Обыкновенного качества;**
- 2. Качественная сталь;**
- 3. Высококачественная сталь;**
- 4. Особо качественная сталь.**

Химические элементы в сплавах легирующих сталей

- **Феррит** - основной элемент в сплаве «Сталь». Содержание феррита в сплаве достигает до 95%. Увеличение доли феррита увеличивает пластичность и уменьшает прочность.
- **Углерод**. В конструкционной стали допускается не более 2,14%. Увеличивает прочность и твёрдость и снижает пластичность и вязкость.
- **Цементит**. Карбид железа Fe_3C . При увеличении доли карбида железа в сплаве повышается твёрдость и прочность, но значительно падает пластичность.

Газы в сплавах

- **N. Азот** (обозначается буквой «А»). Попадает в сталь при выплавке методом дутья. **Газ, способствующий старению стали, увеличивает хрупкость.** Допускается содержание в стали не более 0,1%.
- **O. Кислород** («O»). Попадает в сталь при выплавке. **Газ, способствующий увеличению хрупкости.**
- **H. Водород** («H»). Попадает вместе с влагой из топлива и руды. **Газ, способствующий увеличению хрупкости, уменьшает пластичность.**
- Для удаления газов применяется вакуумирование (создают вакуум).

Другие элементы в сплавах

В основном, добавление легирующих добавок необходимо для связывания вредных добавок, с последующим удалением в виде шлака и для добавления или усиление полезных свойств стали. Необходимо отметить, что эти добавки существенно могут увеличить стоимость стали.

- **Cu. Медь («Д»).** Повышает прочность, увеличивает коррозионную стойкость. В стали может содержаться до 2%.
- **Si. Кремний («С»).** Повышает прочность, связывая кислород при раскислении. При увеличении содержания кремния в стали **понижается пластичность и ухудшается свариваемость.** В стали допускается не более 0,5-1%.
- **Al. Алюминий («Ю»).** Повышает прочность, связывая кислород при раскислении. Повышает ударную вязкость.

Другие элементы в сплавах

- **Mn. Марганец («Г»)**. Раскисляет сталь, **повышает прочность**. При увеличении содержания марганца в стали повышается хрупкость. В стали может содержаться до 2% (обычно не более 0,5-0,7%). При соединении с серой переводит её в шлак.

Также в сталь добавляют более редкие металлы (и соответственно дорогие) для повышения прочности без снижения пластичности. Наиболее часто применимые из это группы металлы:

- **Mo. Молибден («М»)**. В сплаве молибден образует тугоплавкий карбид Mo_2C , который не распадается при сварке и **повышает прочность**. В стали допускается содержание не более 0,4%.
- **Ni. Никель («Н»)**. **повышает прочность и коррозионную стойкость**. В стали может содержаться до 1,7%.

Другие элементы в сплавах

- Cr. Хром («Х»). образуя карбид Cr_7C_3 **повышает прочность и коррозионную стойкость**. В стали может содержаться до 0,9%.
- V. Ванадий («Ф»). способствует измельчению зерна, **повышает прочность, пластичность и ударную вязкость при низких температурах**. В сталь добавляют не более 0,15%.

Также может добавляться и другие химические элементы, например, мышьяк, титан, озон и т.д.

Другие элементы в сплавах

Также в стали могут присутствовать химические элементы, от которых стараются избавиться при переплавке.

- **S. Сера.** Элемент, вступая в реакцию с железом, образует сернистое железо FeS. Это ведёт к образованию трещин в стали при нагреве до 750-850С. Зерна серного железа образуют слабую связь с зёрнами перлита способствуют возникновению трещин под давлением или нагреве. Т.е. при изготовлении конструкций с помощью сварки или при обработке сталь может разрушиться ещё до начала эксплуатации. Для обеспечения нормальной работы в сплаве не допускается наличие серы не более 0,05%.

Другие элементы в сплавах

- **Р. Фосфор.** Наличие элемента в сплаве резко увеличивает хрупкость стали. При работе на отрицательных температурах фосфор провоцирует хладноломкость. В сплаве допускается наличие фосфора не более 0,05%-0,12%. Необходимо отметить, что фосфор при соединении с алюминием повышает коррозионную стойкость. А при соединении с хромом, никелем или меди делает сталь атмосферостойкой.

| | прочность, в МПа | марганец | кремний | сера | фосфор | хром | никель | медь |
|-------------|---------------------|----------|---------|------|--------|------|--------|------|
| C235 | 235 | 0.6 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.3 | 0.012 | 0.3 |
| C245 | 245 | 0.65 | 0.1 | 0.05 | 0.04 | 0.3 | 0.012 | 0.3 |
| C285 | 285 | 0.65 | 0.2 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.012 | 0.03 |
| C345 | 345 | 0.7 | 0.8 | 0.04 | 0.035 | 0.3 | 0.012 | 0.3 |
| C440 | 440 | 1.5 | 0.6 | 0.04 | 0.035 | 0.4 | 0.015 | 0.3 |

Обозначение стали

Ранее для обозначения различных сплавов углеродистой стали обычного качества были введены **марки стали**. В обозначениях марок стали были введены шифрование свойств стали (ГОСТ 380-81).

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Б | С | т | Ц | Б | Б | Ц | - | Ц |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

(Б – буква, Ц – цифра, Ст – обозначает «сталь»)

Обозначение стали

Для углеродистых сталей первой позиция обозначалась буквой и характеризовала по какому составу поставлялась сталь и указывался условный номер марки.

- **Сталь группы «А»** поставляется по механическим характеристикам. Возможно изготовление марок **Ст0-** по **Ст6**;
- **Сталь группы «Б»** поставляется по химическому составу. Возможно изготовление марок **БСт0** по **БСт6**;
- **Сталь группы «В»** поставляется по механическим свойствам и химическому составу одновременно. Возможно было изготовление марок **ВСт0** по **ВСт5**.

!!!! При обозначении группы, буква «А» перед «Ст» не ставится.

Например, **Ст0**, **Вс3**, **БСт5** и т.д.

Учитывая, что химический состав стали влияет на механические характеристики при низкой температуре, то в строительстве чаще всего применяется сталь группы «В», т.е. первые символы "**ВСт**", например, **ВСт3** или **ВСт5**.

Обозначение стали

Цифра после группы обозначала группу по химическому составу.

Далее двумя буквами описывается вид раскисления:

«**кп**» - кипящая сталь (пониженная прочность, зашлакованная, сильно засорённая газами, с повышенной хладноломкостью). Своё название сталь получила из-за того, что при плавлении сплава сталь выделяет вредные примеси (обычно газы) и шлаки и поверхность стали бурлит, или как говорят, "кипит";

«**пс**» - полуспокойная сталь;

«**сп**» - спокойная сталь (повышенная прочность, сниженный уровень газов и шлаков).

Обозначение стали

Далее цифрой обозначается категория стали.

1,2 – сплав, в котором не проводят испытание на ударную вязкость;

3,4 – сплав, в котором проводят испытание на ударную вязкость при -20С;

5 – сплав, в котором проводят испытание на ударную вязкость при -20С и после механического старения;

6 – сплав после механического старения.

Чаще всего после добавляется цифра, характеризующая дополнительные требования к сплаву.

Например: **ВСтЗсп5-1**

углеродистая сталь, поставляемая по механическим и химическим характеристикам третьей группы по химическому составу, по раскислению – сталь спокойная. Сталь удовлетворяет требованиям по ударной вязкости до -20С с дополнительными требованиями согласно заданию (цифра 1).

Обозначение стали

Сталь углеродистая качественная конструкционная (ГОСТ 1050-74) поставляется по механическим свойствам и химическому составу и обозначается по другой шифрованной формуле

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ц | Ц | Б | Б |
|---|---|---|---|

(Б – буква, Ц – цифра)

Первые два числа обозначают среднее содержание углерода в **сотых долях процента**, далее две буквы обозначают **степень раскисления** (КП, ПС или СП). Для упрощения шифрования степень СП (спокойная сталь) не обозначается.

Во всех этих марках стали есть ограничения по содержанию других элементов: серы не более 0,04%, фосфор не более 0,035% и т.д.

Примеры

Сталь 08пс.

Это сталь углеродистая качественная конструкционная с содержанием углерода 0,08%, полуспокойная.

Сталь 30

Это сталь углеродистая качественная конструкционная с содержанием углерода 0,3%, спокойная.

Обозначение стали

Для легирующих сталей (ГОСТ 4543-71) введено следующее шифрование.

| | | | | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|----|---|---|
| Ц | Ц | Бц | Бц | Бц | Бц | Бц | - | Ц |
|---|---|----|----|----|----|----|---|---|

(Б – буква, Ц – цифра)

В начале указывают в сотых долях процента содержание углерода, а затем перечисляют легирующие добавки с указанием их процентов с округлением до целых процентов. Если цифра отсутствует, доля этого элемента может быть до 1,5%. Буквы за цифрами обозначают:

Р- бор, Ю – алюминий, С- кремний, Т – титан, Ф- ванадий, Х – хром,

Г - марганец, Н – никель, М- молибден, В – вольфрам, Д - медь.

Если после записи марки стали через дефис указывается буква, то они обозначают категорию по механическим свойствам и химическому составу.

«А» - высококачественная, «Ш» - особовысококачественная.

Если нет буквы в конце записи, то считается, что сталь относится к категории **качественная.**

Обозначение стали

- 09Г2С1 качественная легирующая сталь с содержанием углерода 0,09% с добавлением марганца («Г») 2% и кремния («С») 1%.
- 09Г2С качественная легирующая сталь с содержанием углерода 0,09% с добавлением марганца («Г») 2% и кремния («С») до 1,5%.
- 12Х18Н10ТА-Ш легирующая сталь особовысококачественная с содержанием углерода 0,12% с добавлением хрома («Х») 18%, Никеля («Н») -10% и титана («Т») до 1,5%.
- 15ХСНД качественная легирующая сталь с содержанием углерода 0,15% с добавлением по 1% хрома, кремния, никеля, меди

Обозначение стали

На сегодня, согласно ГОСТ 27772-82, введён ещё один стандарт, регламентирующий характеристики стали и делящие сплавы на классы, обозначающие по следующей формуле

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| С | Ц | Ц | Ц | Б |
|---|---|---|---|---|

(Б – буква, Ц – цифра)

Первая буква «С» означает слово «**Сталь строительная**», далее идут три числа, означающие сопротивление по пределу текучести, в МПа. Иногда в конце записи указывают букву «К» или «Д» указывающие, что данная сталь имеет отличие по химическому составу или механическим свойствам. По ГОСТ27772-88 существует всего несколько видов, например: С235, С245, С255, С285, С345, С345К, С375, С390, С440, С590, С590К. ,

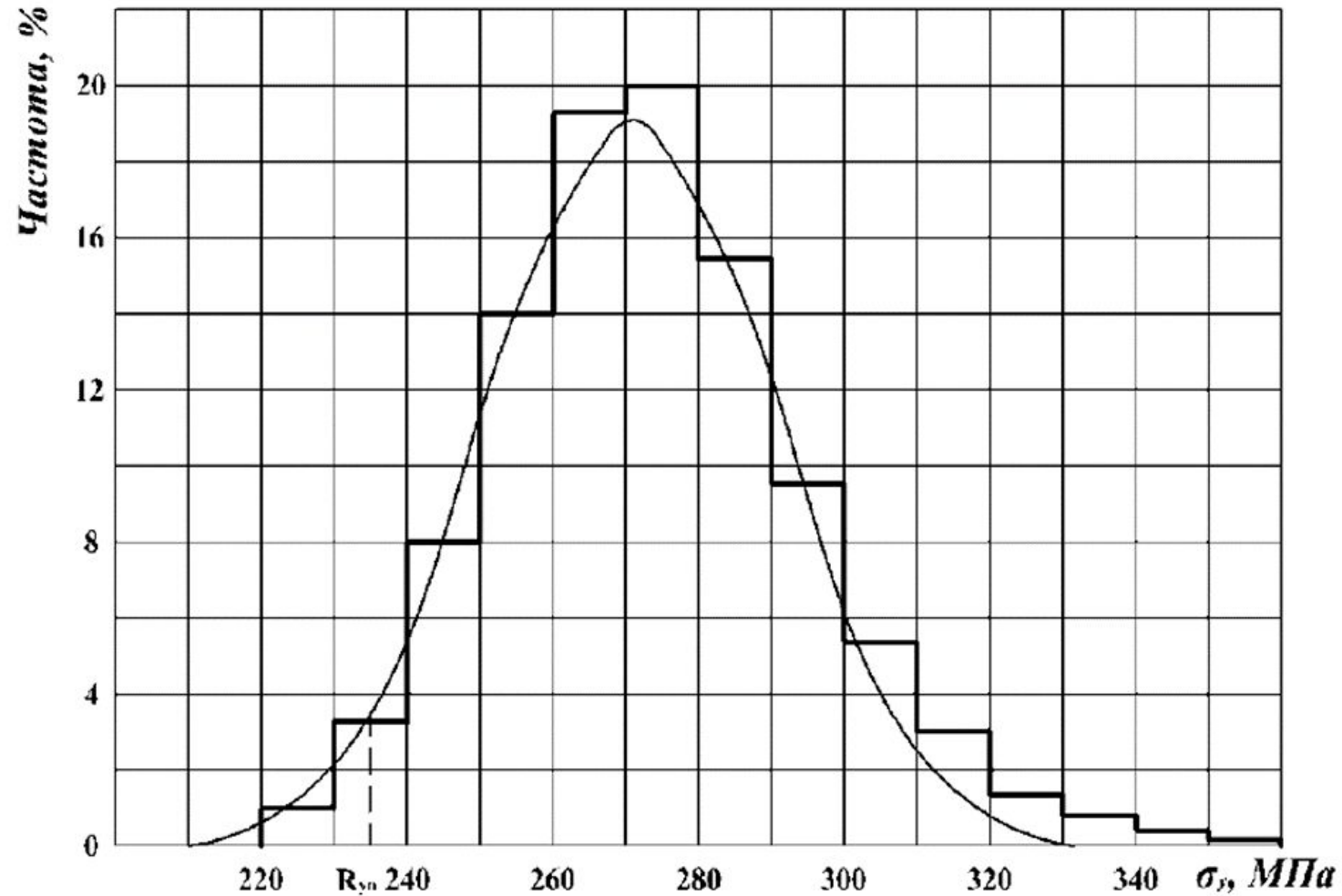
т.е. С245 – это строительная сталь с пределом текучести 245 МПа.

Т.к. различные металлургические предприятия используют разную руду, лом и имеют технологические особенности, то и продукция будет несколько отличаться по химическому составу и механическим свойствам. Что бы добиться единообразия существуют ряд ГОСТов, в которых описаны возможные отклонения по составу и механическим данным. На сегодня все предприятия выпускают изделия из стали со свойствами в строго ограниченными в пределах.

Т.е. если взять 1000 образцов стали и провести испытания по пределу прочности, то получим 1000 результатов, по которым можно построить гистограмму распределения.

По результатам испытания 950 образцов из 1000 должны показать результат не хуже нормируемого показателя, т.е. показатель должен быть с обеспеченностью не менее 0,95. Иначе партия будет забракована. если показатель будет завышен в более 15% случаев, то считается что выплавка выполнена с перерасходом материалов.

Гистограмма распределения и плотность вероятности предела текучести стали ВСт3пс6 (235 МПа)



BCE