



---

## Европейская экономическая комиссия

Комитет по внутреннему транспорту

Рабочая группа по перевозкам опасных грузов

Совместное совещание Комиссии экспертов МПОГ и  
Рабочей группы по перевозкам опасных грузов

Берн, 21–25 марта 2011 года  
Пункт 2 предварительной повестки дня  
Цистерны

### Глава 6.8 Классификация ферритно-аустенитных нержавеющей сталей

Передано правительством Швеции<sup>1,2</sup>

#### *Резюме*

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Существо предложения:</b> | В настоящем предложении предлагается выделить в отдельную категорию сорта ферритно-аустенитных нержавеющей сталей в пункте 6.8.2.1.19 и внести поправку в отношении минимально допустимой толщины стенок для ферритно-аустенитных нержавеющей сталей в пункте 6.8.2.1.19. |
| <b>Предлагаемое решение:</b> | Внести поправку в текст пункта 6.8.2.1.19 и внести новое положение для сортов ферритно-аустенитных нержавеющей сталей.  |
| <b>Справочные документы:</b> | Отсутствуют.  |

<sup>1</sup> В соответствии с программой работы Комитета по внутреннему транспорту на 2010–2014 годы (ЕСЕ/TRANS/208, пункт 106; ЕСЕ/TRANS/210/8, подпрограмма 02.7 с)).

<sup>2</sup> Распространено Межправительственной организацией по международным железнодорожным перевозкам (ОТИФ) в качестве документа OTIF/RID/RC/2011/17.

## Введение

1. Минимальная толщина стенок корпуса для цистерн низкого давления определена в пунктах 6.8.2.1.17–6.8.2.1.22 ДОПОГ.
2. Эквивалентная толщина может быть уменьшена в том случае, если обеспечивается защита цистерны от повреждения в результате поперечного удара или опрокидывания. В таблице 6.8.2.1.19 указывается минимальная толщина стенок корпуса для четырех существующих групп материалов при наличии защиты от повреждения. В таблице 1 указаны четыре группы материалов с указанием соответствующей минимальной толщины стенок корпуса.

Таблица 1

### Минимальная толщина стенок корпуса в соответствии с пунктом 6.8.2.1.19

|                                      | Диаметр корпуса               |            |      |
|--------------------------------------|-------------------------------|------------|------|
|                                      | $\leq 1,80$ м                 | $> 1,80$ м |      |
| Минимальная<br>толщина корпу-<br>сов | Нержавеющие аустенитные стали | 2,5 мм     | 3 мм |
|                                      | Прочие стали                  | 3 мм       | 4 мм |
|                                      | Алюминиевые сплавы            | 4 мм       | 5 мм |
|                                      | Алюминий чистотой 99,80%      | 6 мм       | 8 мм |

3. Ферритно-аустенитные нержавеющие стали (также обычно именуемые как дуплексные нержавеющие стали) относятся к второй группе "Прочие стали" и поэтому рассматриваются как мягкие стали.
4. Разбивка на категории, однако, не является точной и не отражает свойств сортов ферритно-аустенитных сталей. Поэтому не представляется возможным использовать потенциал ферритно-аустенитных нержавеющих сталей, что препятствует изготовителям цистерн в поиске затратоэффективных решений.
5. Соответственно предлагается добавить в таблицу пятую группу материалов, в которую включаются ферритно-аустенитные нержавеющие стали, определенные в стандарте EN 10028-7. Минимальные характеристики таких ферритно-аустенитных сталей кратко представлены в таблице 2.
6. Кроме того, предлагается использовать для ферритно-аустенитных нержавеющих сталей те же минимальные значения толщины корпуса, что и для аустенитных нержавеющих сталей. Это предложение будет подробно обсуждаться в разделе "Обоснование".
7. Минимальная толщина стенок корпуса для цистерн без защиты от повреждения может быть рассчитана с помощью уравнения, приведенного в пункте 6.8.2.1.18. В пункте 6.8.2.1.19 подробно описывается, как эта формула может быть адаптирована к тем случаям, когда обеспечивается защита от повреждений, что приводит к использованию  $e_0 = 4$  мм в случае цистерн диаметром  $> 1,8$  м и  $e_0 = 3$  мм в случае цистерн диаметром  $\leq 1,8$  м.

$$e_1 = \frac{464e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1}A_1)^2}}, \quad (\text{Уравнение, приведенное в пункте 6.8.2.1.18})$$

где:

$e_1$  = минимальная толщина стенки корпуса из выбранного металла в мм;

- $e_0$  = минимальная толщина стенки корпуса из мягкой стали в мм в соответствии с пунктом 6.8.2.1.18 и 6.8.2.1.19;
- $R_{m1}$  = минимальный предел прочности на разрыв выбранного металла в Н/мм<sup>2</sup>;
- $A_1$  = минимальное удлинение выбранного металла при разрывной нагрузке, %.

8. Расчеты производятся для обоих случаев: для цистерн без защиты от повреждения и для цистерн с защитой от повреждения. Рассчитанные значения для всех ферритно-аустенитных нержавеющей сталей перечислены в стандарте EN 10028-7, а рассчитанные значения для использования в отношении цистерн, обычно изготовленных из аустенитных нержавеющей сталей, показаны в таблице 3.

Таблица 2

**Минимальные значения согласно стандарту EN 10028-7**

| <i>Сорт</i> | <i>R<sub>m</sub> = Пределная прочность на разрыв [МПа]</i> | <i>Удлинение [%]</i> | <i>Вид стали</i>     |
|-------------|--|----------------------|----------------------|
| 1.4362      | 650  | 20                   | Ферритно-аустенитная |
| 1.4462      | 700  | 20                   | Ферритно-аустенитная |
| 1.4507      | 690  | 20                   | Ферритно-аустенитная |
| 1.4410      | 750  | 30                   | Ферритно-аустенитная |
| 1.4501      | 730  | 25                   | Ферритно-аустенитная |
| 1.4404      | 530  | 40                   | Аустенитная          |
| 1.4401      | 530  | 40                   | Аустенитная          |
| 1.4307      | 520  | 45                   | Аустенитная          |

Таблица 3

**Расчет толщины стенки согласно пунктам 6.8.2.1.18 и 6.8.2.1.19**

| <i>Расчет согласно уравнению в пункте 6.8.2.1.18 без защиты цистерны от повреждения</i> |   |   |
|---|---|---|
| <i>Сорт</i>   | <i>Диаметр цистерны: &gt; 1,8 м</i>   | <i>Диаметр цистерны: ≤ 1,8 м</i>  |
|   | <i>Минимальная толщина стенки цистерны для выбранного металла в мм при e<sub>0</sub> = 6 мм</i> | <i>Минимальная толщина стенки цистерны для выбранного металла в мм при e<sub>0</sub> = 5 мм</i> |
| <b>Ферритно-аустенитные</b>   |   |   |
| 1.4362  | 5,04  | 4,2   |
| 1.4462  | 4,8   | 3,99  |
| 1.4507  | 4,84  | 4,03  |
| 1.4410  | 4,58  | 3,81  |
| 1.4501  | 4,02  | 3,35  |
| <b>Аустенитная</b>  |   |   |
| 1.4404  | 3,63  | 3,03  |
| 1.4401  | 3,63  | 3,03  |
| 1.4301  | 3,32  | 2,77  |

*Расчет в соответствии с уравнением в пункте 6.8.2.1.18 с защитой цистерны от повреждения*

| Сорт                        | Диаметр цистерны: > 1,8 м   |  | Диаметр цистерны: ≤ 1,8 м   |   |
|-----------------------------|---|--|---|---|
|                             | Минимальная толщина стенки для выбранного металла в мм при $e_0 = 4$ мм | Минимальная допустимая толщина согласно пункту 7.8.2.1.19 ДОПОГ в мм | Минимальная толщина стенки для выбранного металла в мм при $e_0 = 3$ мм | Минимальная допустимая толщина согласно пункту 6.8.2.1.9 ДОПОГ в мм |
| <b>Ферритно-аустенитная</b> |   |  |   |   |
| 1.4362                      | 3,36  | 4  | 2,52  | 3   |
| 1.4462                      | 3,2   | 4  | 2,4   | 3   |
| 1.4507                      | 3,23  | 4  | 2,42  | 3   |
| 1.4410                      | 3,05  | 4  | 2,29  | 3   |
| 1.4501                      | 2,68  | 4  | 2,01  | 3   |
| <b>Аустенитная</b>          |   |  |   |   |
| 1.4404                      | 2,42  | 3  | 1,82  | 2,5   |
| 1.4401                      | 2,42  | 3  | 1,82  | 2,5   |
| 1.4301                      | 2,21  | 3  | 1,66  | 2,5   |

9. Из таблицы 3 следует, что для ферритно-аустенитных нержавеющей сталей характерны (несколько) более высокие значения минимальной толщины по сравнению с аустенитными сортами при расчете в соответствии с пунктом 6.8.2.1.18. То же самое применимо при расчетах, производимых в соответствии с пунктом 6.8.2.1.19. Однако минимальные значения толщины стенки цистерн из ферритно-аустенитных сталей, рассчитанные в соответствии с пунктом 6.8.2.1.19, меньше, чем требуемая минимальная толщина в 3 мм и 4 мм для стенки цистерн диаметром, соответственно, ≤ 1,8 м и > 1,8 м. Из этого следует, что минимальная требуемая толщина стенки цистерн из ферритно-аустенитных сталей может быть рассчитана с меньшими значениями, т.е. расчетные значения или два предлагаемых минимальных допустимых значения толщины могут составлять 3 мм и 2,5 мм для диаметров > 1,8 м и ≤ 1,8 м, соответственно.

## Предложение

10. Предлагается добавить в таблицу в пункте 6.8.2.1.19 пятую категорию и утвердить значения, установленные для аустенитных нержавеющей сталей, для сортов ферритно-аустенитных нержавеющей сталей, как это показано в таблице 4 ниже.

Таблица 4  
Предлагаемые поправки к таблице в пункте 6.8.2.1.19

|                              | Диаметр корпуса                               |               |             |
|------------------------------|---|---------------|-------------|
|                              | ≤ 1,80 м                                      | > 1,80 м      |             |
| Минимальная толщина корпусов | Нержавеющие аустенитные стали                 | 2,5 мм        | 3 мм        |
|                              | <b>Ферритно-аустенитные нержавеющей стали</b> | <b>2,5 мм</b> | <b>3 мм</b> |
|                              | Прочие стали                                  | 3 мм          | 4 мм        |
|                              | Алюминиевые сплавы                            | 4 мм          | 5 мм        |
|                              | Алюминий с чистотой 99,80%                    | 6 мм          | 8 мм        |

11. Эти предложения не касаются емкостей высокого давления. Толщина стенок емкостей высокого давления определяется по классической формуле для емкостей высокого давления, а ферритно-аустенитные стали рассматриваются как "Прочие стали", что соответствует правилам эксплуатации емкостей высокого давления, таким как стандарт TN 13445 и раздел VIII Кодекса по эксплуатации нагревательных установок и емкостей высокого давления Американского общества инженеров-механиков.

## Обоснование

### 1. Доводы в поддержку предлагаемых изменений в отношении минимальной толщины ферритно-аустенитных нержавеющей сталей

#### Поведение кривой зависимости деформации от напряжений

12. Любое столкновение вызывает повреждение структуры, степень повреждения зависит от различных факторов. Одним из факторов, влияющих на воздействие столкновения, является энергопоглощающая способность материала. В целом материал, характеризующийся высокой энергопоглощающей способностью, может обеспечить более высокую степень безопасности.

13. Для наглядности и определения энергопоглощающей способности материала могут быть использованы кривые зависимости деформации от напряжения. На рис. 1 показана кривая зависимости деформации от напряжения для аустенитного сорта 1.4404, а на рис. 2 показана общая кривая зависимости деформации от напряжения, для ферритно-аустенитных нержавеющей сталей. Ниже будет рассмотрен расчет поглощения энергии.

14. В формуле для расчета минимальной толщины стенки цистерны, приведенной в пункте 6.8.2.1.18, учитывается энергопоглощающая способность соответствующего материала.  $R_{m1} A_1$  является частью формулы, которая влияет на поглощение энергии соответствующим материалом.

$$e_1 = \frac{464e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1}A_1)^2}} \quad (\text{Уравнение, приведенное в пункте 6.8.2.1.18})$$

15. Пространство в прямоугольнике на рис. 1 (красная и зеленая части) показывает поглощение энергии сортом 1.4404 при расчете с использованием  $R_{m1} A_1$ . То же самое применяется к ферритно-аустенитным сталям на рис. 2. Однако поглощение энергии, включенное в формулу в пункте 6.8.2.1.18, не отражает реальную способность материала к поглощению энергии. Реальное поглощение энергии отображено с помощью пространства под кривой, соответственно на зеленом и желтом участках рисунка.

16. При сопоставлении кривых можно убедиться в том, что красная часть пространства над кривой для 1.4404 значительно больше, чем пространство в случае ферритно-аустенитных сталей. При расчете показателя  $e_1$  с использованием уравнения, содержащегося в пункте 6.8.2.1.18, красное пространство полностью учитывается, однако эта часть фактически не способствует реальному поглощению энергии соответствующим материалом. При использовании рис. 1 и рис. 2 становится очевидным, что уравнение, содержащееся

в пункте 6.8.2.1.18, является в своей оценке более консервативным для ферритно-аустенитных сталей, чем для аустенитных нержавеющей сталей. Соответственно, предлагается утвердить минимальную толщину стенки корпуса, требующуюся для аустенитных сталей, также и к категориям ферритно-аустенитных сталей (таблицы 1 и 4).

17. В таблице 3 показаны расчетные значения минимальной толщины стенки для некоторых сортов нержавеющей стали. Рассчитанные значения минимальной толщины стенки для ферритно-аустенитных сталей являются в некоторых случаях более высокими (см. раздел "Введение"). Они зависят в некоторой степени от того, как рассчитывается энергопоглощающая способность материала с использованием формулы, содержащейся в пункте 6.8.2.1.18, как это уже упоминалось ранее в данном разделе. Хотя минимальная толщина стенки для некоторых ферритно-аустенитных сталей превышает 3 мм для диаметров  $> 1,8$  м и 2,5 мм для диаметров  $\leq 1,8$  м, существуют также некоторые сорта, которые могут быть использованы, соответственно, для значений в 3 мм и 2,5 мм. Таким образом, представляется разумным предоставить изготовителям цистерн возможность применять минимальную толщину в 3 мм и 2,5 мм в зависимости от выбранного ими сорта ферритно-аустенитных сталей.

18. Кроме того, вследствие консервативного подхода к ферритно-аустенитным сталям в указанной формуле представляется оправданным внесение поправки в таблицу, содержащуюся в пункте 6.8.2.1.19.

Рисунок 1

**Поглощение энергии для сорта 1.4404**

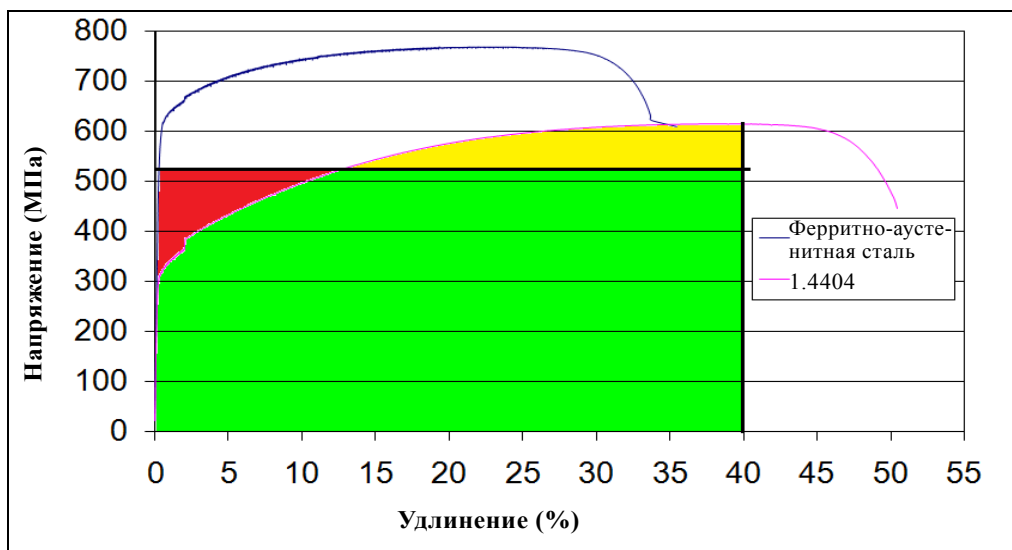
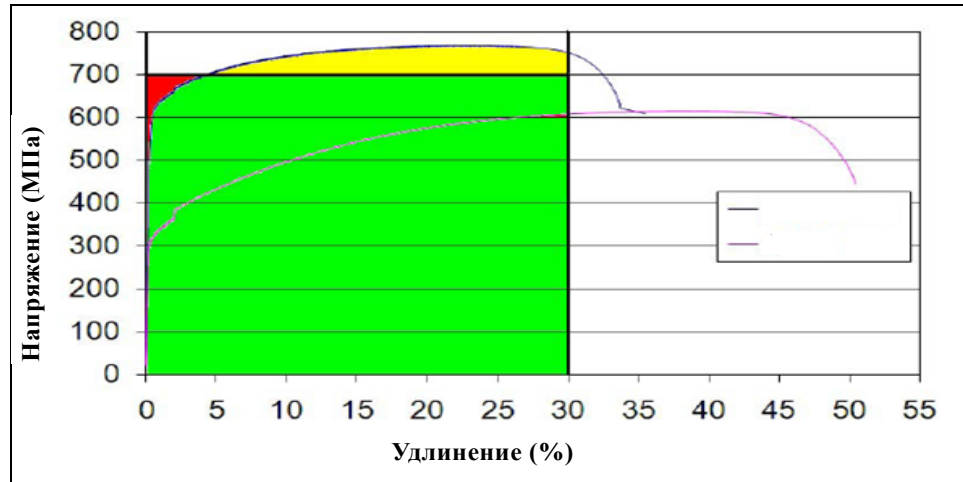


Рисунок 2

**Поглощение энергии для различных сортов ферритно-аустенитных сталей****2. Замечания****Поглощение энергии при различных уровнях напряжения**

19. Опыт, приобретенный в результате испытаний в автомобильной промышленности, показывает, что при столкновении материал деформируется лишь в размере до 10%, а не до 20%, 30% или более высоких значений. На рис. 3 показано реальное поглощение энергии для сорта 1.4404 и для ферритно-аустенитных сталей соответственно при удлинении, равном 10%, 15% и 20%.

20. До момента разрыва ферритно-аустенитные стали обладают значительно лучшей реальной энергопоглощающей способностью, чем сорт 1.4404. В качестве простой иллюстрации приводится поглощение энергии, рассчитанное по формуле  $R_{px} A_1$  при удлинении в  $x$ . Результаты представлены в таблице 5 ниже. Следует подчеркнуть, что эти результаты не отражают реального поглощения энергии в силу обсуждавшихся выше причин (см. раздел "Обоснование", пункт 1).

Таблица 5

**Поглощение энергии ферритно-аустенитными сталями по сравнению с сортом 1.4404**

| Удлинение | Поглощение энергии<br>( $^3R_{px} A_1$ )<br>ферритно-аустенитными<br>сталями | Поглощение энер-<br>гии ( $^3R_{px} A_1$ )<br>для 1.4404 | Поглощение энергии<br>ферритно-аустенитными<br>сталями по сравнению с 1.4404 |
|-----------|--|--|--|
| 10%       | 7400   | 5000   | + ~50%   |
| 15%       | 11400  | 8100   | + ~40%   |
| 20%       | 15600  | 11600  | + ~35%   |
| 30%       | 22500  | 18300  | + ~23%   |

<sup>3</sup>  $R_{px}$  = нагрузка при соответствующем удлинении.

21. В таблице 5 также показано, что в случае поглощения энергии, соответствующего ферритно-аустенитным сталям, значение деформации (удлинения) аустенитной стали будет значительно выше. Например, поглощение энергии (число ЕА) ферритно-аустенитной сталью составляет 11400 при удлинении 15%. В условиях столкновения для стали сорта 1.4404 потребуется удлинение до 21,5%, с тем чтобы обеспечить поглощение того же количества энергии, которое поглощается ферритно-аустенитной сталью при удлинении в 15% (см. рис. 4). Дополнительные сопоставления были проведены для значений удлинения в 10%, 20%, 25% и 30%. Результаты приводятся в таблице 6.

Таблица 6

**Удлинение для сорта 1.4404 при заданном значении поглощения энергии**

| <i>Поглощение энергии ферритно-аустенитными сталями</i> | <i>Удлинение ферритно-аустенитных сталей</i> | <i>Удлинение для сорта 1.4404 для получения того же поглощения энергии, как и для ферритно-аустенитных сталей</i> |  |
|---|--|---|--|
| 7400  | 10%  | 15%   |  |
| 11400   | 15%  | 22%   |  |
| 15600   | 20%  | 27%   |  |
| 22500   | 30%  | 37%   |  |

Рисунок 3

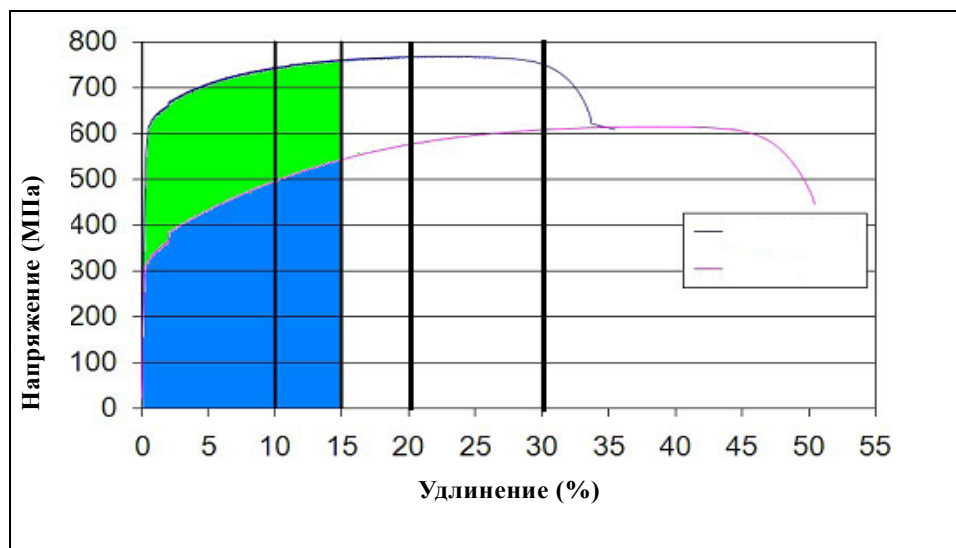
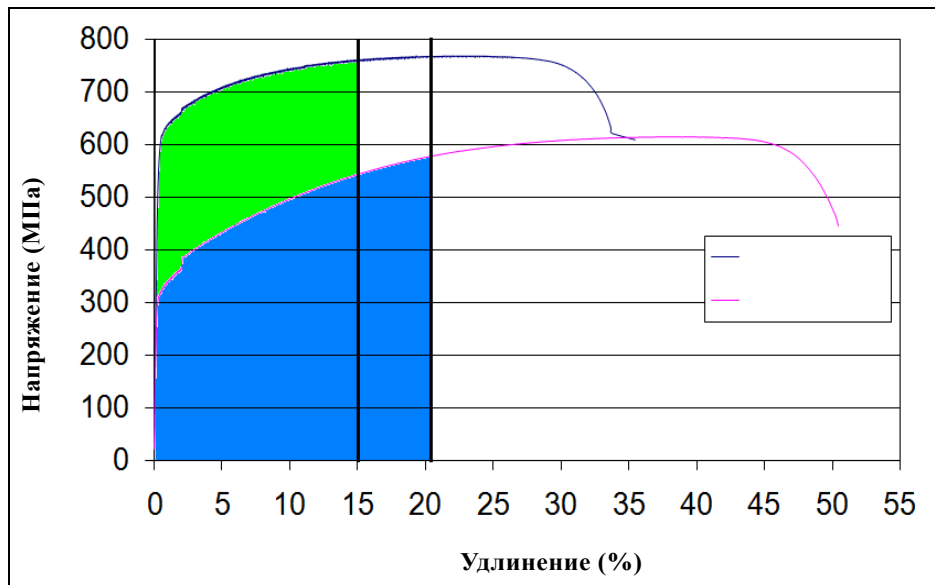
**Поглощение энергии при удлинении в размере 10%, 15%, 20% и 30% для ферритно-аустенитных сталей и стали сорта 1.4404**



Рисунок 4  
Удлинение стали сорта 1.4404 и ферритно-аустенитных сталей  
при поглощении энергии, равном 11400



### 3. Дополнительная информация

22. На январь 2011 года запланировано проведение статических и динамических испытаний для некоторых сортов ферритно-аустенитных и аустенитных сталей. Испытания будут проводиться Федеральным институтом исследований и испытаний материалов (БАМ) в Германии. Результаты этих испытаний будут представлены и использованы для дальнейшего обсуждения в ходе сессии Совместного совещания, которая состоится в марте 2011 года.