



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

Женева, 13–23 сентября 2011 года
Пункт 2 предварительной повестки дня
Цистерны

Глава 6.8

Дифференциация ферритно-аустенитных нержавеющей сталей

Передано правительством Швеции^{1, 2}

Резюме

Существо предложения: В настоящем документе предлагается новая сноска, основанная на минимальных значениях удлинения, которую следует добавить к ферритно-аустенитным нержавеющей сталям в пункте 6.8.2.1.19, и новый второй абзац в пункте 6.8.2.1.10.

Справочные документы: ECE/TRANS/WP.15/AC.1/2011/17
Неофициальные документы INF.33 (Берн, март 2011 года) и
INF.42 (Берн, март 2011 года)

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

² Распространено Межправительственной организацией по международным железнодорожным перевозкам (ОТИФ) в качестве документа OTIF/RID/RC/2011/44.

I. 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 в пункте 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	
		$\leq 1,80 \text{ м}$	$>1,80 \text{ м}$
Минимальная толщина корпусов	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. В ходе Совместного совещания Комиссии экспертов МПОГ и Рабочей группы по перевозкам опасных грузов Рабочая группа по цистернам на своей весенней сессии 2011 года приняла решение ввести новую группу сталей, а именно – ферритно-аустенитные нержавеющие стали. Кроме того, было решено установить значение толщины стенки 3,0 мм для корпусов диаметром не более 1,8 м и 3,5 мм – для корпусов диаметром более 1,8 м (см. таблицу 2). Отчет об обсуждении содержится в документе INF.42.

Таблица 2

Поправки к таблице в пункте 6.8.2.1.19, принятые Совместным совещанием в Берне, 21–23 марта 2011 года (INF. 42)

		Диаметр корпуса	
		$\leq 1,80 \text{ м}$	$>1,80 \text{ м}$
Минимальная толщина кор- пусов	Нержавеющие аустенитные стали	2,5 мм	3 мм
	Ферритно-аустенитные нержавеющие стали	3 мм	3,5 мм
	Прочие стали	3 мм	4 мм
	Алюминиевые сплавы	4 мм	5 мм
	Алюминий чистотой 99,80%	6 мм	8 мм

4. В ходе Совместного совещания Комиссии экспертов МПОГ и Рабочей группы по перевозкам опасных грузов Рабочая группа по цистернам на своей весенней сессии 2011 года обсудила также показатели ударной вязкости при низких температурах, энергопоглощающей способности, удлинения при разрывной нагрузке и поведение сварных швов ферритно-аустенитных нержавеющих сталей по сравнению со стандартными аустенитными сталями, при этом некоторые вопросы остались нерешенными. Ответы на эти вопросы могут быть получены и соответствующие требования удовлетворены путем введения дополнительных требований и ограничений по данной группе сталей.

II. Предложения

Предложение 1: Дополнительное требование в отношении удлинения

5. Установив дополнительные требования в отношении расчетного температурного интервала, ударной вязкости и удлинения ферритно-аустенитных нержавеющей сталей, можно будет дополнительно уменьшить толщину по сравнению со значениями, приведенными в таблице 2. Для целей введения требования в отношении удлинения A_5 в размере не менее 30%, что соответствует требуемому минимальному удлинению для аустенитных нержавеющей сталей согласно стандарту EN 13445 на емкости высокого давления, предлагается включить следующую сноску (см. таблицу 3).

Таблица 3

Диаметр корпуса		$\leq 1,80$ м	$> 1,80$ м
Минимальная толщина корпусов	Нержавеющие аустенитные стали	2,5 мм	3 мм
	Ферритно-аустенитные нержавеющей стали*	3 мм	3,5 мм
	Прочие стали	3 мм	4 мм
	Алюминиевые сплавы	4 мм	5 мм
	Алюминий чистотой 99,80%	6 мм	8 мм

* Корпуса из ферритно-аустенитных нержавеющей сталей с удлинением A_5 не менее 30% могут иметь минимальную толщину 2,5 мм при диаметре корпуса $\leq 1,80$ м или минимальную толщину 3,0 мм при диаметре корпуса $> 1,80$ м.

Предложение 2: Дополнительные требования в отношении ударной вязкости и расчетного температурного интервала

6. Предлагается добавить в конце раздела 6.8.2.1.10 дополнительные требования для ферритно-аустенитных нержавеющей сталей. Предлагается следующий текст, основанный на стандартах EN 10028-7 "Изделия плоские стальные для использования под давлением – Нержавеющие стали" и EN 13445-2 "Сосуды под давлением без огневого подвода теплоты – Часть 2: Материалы", приложение В.

7. В качестве нового второго абзаца подраздела 6.8.2.1.10 предлагается следующая поправка:

Для ферритно-аустенитных нержавеющей сталей должны выполняться два следующих общих требования:

Допустимый расчетный температурный интервал должен составлять от -40 °C до $+250$ °C.

Ударная вязкость основного материала, металла сварного шва и зоны термического влияния при -40 °C или при наименьшей расчетной температуре должна быть не менее 40 Дж при испытаниях на образцах ISO-V.

III. Обоснование

8. По результатам последнего Совместного совещания Комиссии экспертов МПОГ и Рабочей группы по перевозкам опасных грузов ферритно-аустенитные нержавеющие стали были признаны в качестве отдельной группы материалов. Были приняты предлагаемые изменения в таблице, приведенной в пункте 6.8.2.1.19. Обоснованием предыдущего изменения являлись поведение кривой зависимости деформации от напряжения ферритно-аустенитных нержавеющих сталей в сравнении с аустенитными сталями и энергопоглощающая способность обеих групп материалов.

9. Кроме того, расчеты толщины корпусов в соответствии с пунктами 6.8.2.1.18 и 6.8.2.1.19 показали, что при изготовлении корпусов цистерн из ферритно-аустенитных нержавеющих сталей допустимы меньшие значения толщины, чем те, которые предусмотрены в таблице в пункте 6.8.2.1.19. Дополнительные требования, как они представлены в предложениях 1 и 2 настоящего документа, должны обеспечивать адекватные требуемые показатели ферритно-аустенитных нержавеющих сталей в целях безопасности.

10. Требуемый в предложении 1 показатель удлинения A_5 , равный не менее 30%, гарантирует, что соответствующие данному показателю ферритно-аустенитные нержавеющие стали отвечают также аналогичным требованиям в отношении удлинения, предъявляемым к аустенитным нержавеющим сталям.

11. Предлагаемая в предложении 2 поправка будет гарантировать, что допустимый расчетный температурный интервал не выходит за пределы, установленные в международно признанных стандартах на емкости высокого давления.

12. Кроме того, предлагаемая в предложении 2 поправка будет гарантировать соответствие показателей ударной вязкости основного материала, металла сварного шва и зоны термического влияния при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ или при наименьшей расчетной температуре международно признанным стандартам на емкости высокого давления.

13. В ходе последнего совещания Рабочей группы ударная вязкость ферритно-аустенитных нержавеющих сталей рассматривалась в качестве серьезной проблемы. В приложении 1 приводится дополнительная информация об ударной вязкости в целом и об ударной вязкости ферритно-аустенитных нержавеющих сталей в частности, а также об ударной вязкости сварных швов.

14. В приложении 2 приводится дополнительная информация о свариваемости ферритно-аустенитных нержавеющих сталей, так как вопрос о свариваемости обсуждался в ходе последнего совещания Рабочей группы.

15. Возможность дальнейшего уменьшения толщины корпуса и, следовательно, собственного веса корпуса цистерны, в конечном счете, окажет положительное воздействие на сокращение выбросов и повышение экологичности перевозок в цистернах.

Annex 1

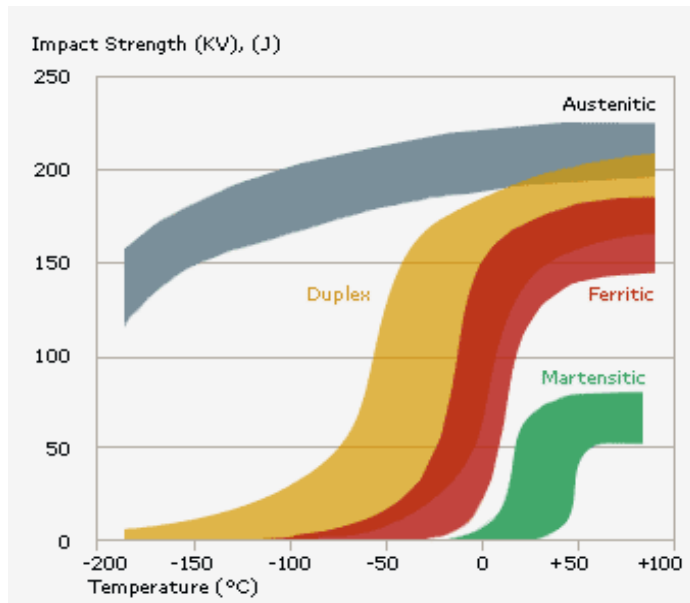
English only

Impact toughness of Stainless Steels

General

1. The toughness of the different types of stainless steels shows considerable variation, ranging from excellent toughness at all temperatures for austenitic steels to the relatively brittle behaviour of martensitic steels. Toughness is dependent on temperature and generally improves with increasing temperature.
2. One measure of toughness is the impact toughness, i.e. the toughness measured on rapid loading. Figure 1 shows categories of stainless steel at temperatures from -200 °C to +100 °C. It is apparent from the Figure 1 that there is a fundamental difference at low temperatures between austenitic stainless steels on the one hand and martensitic, ferritic and austenitic-ferritic stainless steels on the other.
3. Martensitic, ferritic and austenitic-ferritic stainless steels are characterised by a transition in toughness, from tough to brittle behaviour. Transition in toughness occurs at a certain temperature, the transition temperature.
4. For ferritic steel the transition temperature increases with increasing carbon and nitrogen content. Even though carbon and nitrogen increase toughness, a high content facilitates brittleness of the material at higher temperatures. As the austenitic-ferritic stainless steels contain 40 to 60 % austenite, they are generally a little tougher than the ferritic stainless steels. Yet, the higher the ferrite content, the higher the transition temperature, i.e. more brittle behaviour.
5. Martensitic stainless steels have transition temperatures around or slightly below room temperature, while those for ferritic and austenitic-ferritic stainless steels are in the range 0 to -50 °C, with ferritic steels in the upper part of this range.
6. Austenitic stainless steels do not exhibit a toughness transition as do the other stainless steel types, but have excellent toughness at all temperatures, although the toughness decreases slightly with decreasing temperature.

Figure 1
Categories of stainless steels at temperatures from -200 °C to + 100 °C

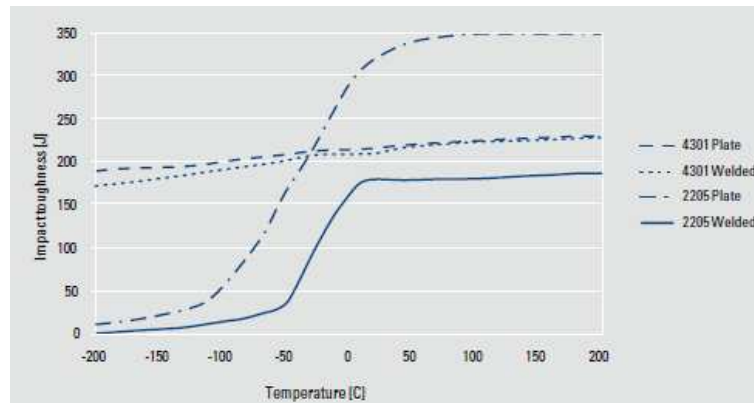


Impact toughness of welds

7. Impact toughness is commonly tested by a Charpy-V test in order to determine the suitability of a material for use at different temperatures. It is common to test both the base material and the weld, sometimes also the heat affected zone, HAZ. The impact toughness of austenitic stainless steel grades welded with standard fillers and welding methods is very high, even down to very low (cryogenic) temperatures. Most common austenitic stainless steels can be used down to -196 °C without any special measures and some grades, like EN 1.4311, can be used down to -270 °C.

8. The ferritic and martensitic grades, on the other hand, become brittle and show low impact toughness values in the base material when reaching temperatures of -20 °C to -40 °C. In the weld, the toughness may be even lower, depending on the welding method. Increased toughness in the weld can be achieved by using a nickel-based filler metal that makes the weld metal more ductile, but the properties of the HAZ might still be poor. Ferritic and martensitic grades are not at all suitable for cryogenic applications.

Figure 2
Typical impact toughness vs. temperatures for base and weld metal
 (From Outokumpu Welding Handbook, Ed. 1, 2010)



9. The austenitic-ferritic stainless steels have toughness somewhere between austenitic and ferritic steels. The austenitic-ferritic base material is more ductile than the ferritic and martensitic grades and they are ductile down to about $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, but the welds in this type of steel set the temperature limit. The welding method used must give the proper level of toughness depending on the requirements of the construction. If there are high requirements on toughness at sub-zero temperatures, TIG welding gives the best results.

10. In Figure 2, the influence of welding on the impact toughness is shown for a standard austenitic grade that is very little affected by the welding and a duplex grade where the weld has pronounced effect on the toughness of welded structures at low temperatures.

11. It is advisable to contact the material supplier when welding austenitic-ferritic stainless steels with high requirements on toughness at sub-zero temperatures.

Welding of Austenitic-Ferritic Stainless Steels

General characteristics

1. Austenitic-ferritic stainless steels combine many of the best properties of austenitic and ferritic stainless steels. They are readily weldable and the weldability is better than that of ferritic stainless steels, but not as good as the austenitic stainless steels. They can be joined with most welding methods used for austenitic stainless steels. For optimum weldment properties, however, the welding parameters may have to be modified. Austenitic-ferritic stainless steels are designed to have approximately equal amounts of ferrite and austenite in the solution annealed condition. The welding process involves thermal cycles that can change the phase balance to a more ferritic one in both the weld metal and adjacent areas of the base metal. This may in some cases have a detrimental effect on weldment properties.
2. The typical level of heat input used for austenitic-ferritic stainless steels is 0.5-2.5 kJ/mm. For lower and high alloyed austenitic-ferritic stainless steels the levels is however somewhat lower and more narrow (0.2-1.5 kJ/mm). Austenitic-ferritic stainless steels commonly solidify with a fully ferritic structure with austenite nucleation and growth during cooling. Rapid cooling from high temperatures may still result in high ferrite levels in the weld metal and adjacent base metal. Therefore filler metals are specially designed with higher nickel contents to produce a phase balance similar to that of the base material.
3. The general approach, if optimum weldment properties are required, is to use designed fillers and a joint design that allows the use of filler. All austenitic-ferritic stainless steel fillers are over-alloyed with respect to nickel to ensure good austenite formation. Modern austenitic-ferritic stainless steels also contain sufficient nitrogen to improve the austenite reformation in the HAZ. However, extremely high cooling rates (e.g. low heat input with thick gauges) can still result in an almost completely ferritic structure in the welds and this should be avoided. If designed fillers are used, typical ferrite levels in the weld metal will be 25-55%. The ferrite level in the HAZ will be somewhat higher, 55-70%.
4. Autogenous welding (e.g. TIG without filler, resistance and laser welding) will result in high ferrite levels, typically 60-95% dependent on cooling rate. For such welds, subsequent annealing will restore the phase balance in the weldment. Nitrogen addition to the shielding gas is used with autogenous welding in order to preserve the corrosion resistance and strength of the weld. If subsequent annealing is not possible, TIG-welding must – for most cases - be made with a filler.
5. Exposure of austenitic-ferritic stainless steels at 700-900 °C can precipitate intermetallic phases, which impair toughness and corrosion resistance. This has to be considered when welding of high-alloyed austenitic-ferritic stainless steel grades, in particular with multipass welding. For standard and lean austenitic-ferritic stainless steels this is seldom an issue.
6. Austenitic-ferritic stainless steels may show lower penetration and fluidity than standard austenitic steels (1.4304/1.4404 or 304/316-series) during welding. This can result in lower welding speeds for automatic TIG and plasma arc welding. To improve penetration and fluidity, addition of helium or hydrogen to the argon shielding gas is commonly used. The reduced penetration will require the joint angle

to be somewhat wider (+10°) and the land to be smaller than for austenitic steels. Due to high strength of the parent material, the tacks should be somewhat longer compared to standard austenitic grades (≥ 25 mm).

7. Weld defects that can occur with austenitic-ferritic stainless steels are often a result of too high welding speed (cracking), too narrow joints (porosity, slag inclusions) or too high heat input (reduced ductility). Excessively thick weld beads may cause porosity due to entrapped nitrogen from the base metal.

8. Austenitic-ferritic stainless steels are less susceptible to hot cracking than austenitic steels with primary austenitic solidification. The risk of hydrogen cracking is also low provided that the austenite formation in the weld area is sufficient. As with all types of stainless steel weldments, the properties of austenitic-ferritic stainless steel welds differ to some extent from those of the base material.

9. To counteract possible nitrogen loss in the weld metal when TIG or plasma welded, some percent of nitrogen addition to the shielding gas is often used. This will improve pitting corrosion resistance, ductility and strength. Backing/purging gases containing nitrogen (e.g. 90% N₂ + 10% H₂) are also beneficial for the corrosion resistance of TIG and plasma welds.

10. The lower fluidity and arc stability in MAG welding compared to standard austenitic steels can be solved by adopting a pulse technique and the use of special shielding gases containing Ar + He + O₂/CO₂. For this welding method, addition of nitrogen to the shielding gas may cause porosity and should be avoided. When welding with SAW, the flux should be of basic type to secure sufficient impact strength.

11. When austenitic-ferritic stainless steels are welded to carbon steels, a filler metal should be chosen with sufficient alloying content to produce an austenitic-ferritic or austenitic weld. The filler can be of austenitic-ferritic stainless steel type or of austenitic 23Cr13Ni2Mo type. In most cases austenitic-ferritic stainless steel fillers are used to provide sufficient strength.

12. When joining different austenitic-ferritic stainless steel grades, the filler that is designed for the higher alloyed grade should be used.

13. Joining austenitic-ferritic stainless steels to austenitic, super austenitic steels and nickel based alloys is also possible. When welding high strength steels to steels with lower yield strength, filler giving at least as high yield strength as the strongest steel should be chosen. Otherwise there is a risk that the strength level in the weld metal is exceeded and fracture may occur in the weld metal at tensile or bend testing.

14. Certain fillers as they are typically used for TIG/MIG welding are presented in Table 1. The selection of the right filler material depends on welding method and grade, as well as environment (for instance low temperature or very corrosive environments).

Table 1

Fillers used for TIG/MIG welding of some common austenitic-ferritic stainless steels.

<i>Grade EN 10028-7</i>	<i>Filler(s) EN ISO 14343</i>
1.4362	23 7 NL or 22 9 3 NL
1.4462	22 9 3 NL
1.4501	25 9 4 NL
1.4410	25 9 4 NL
1.4162*	23 7 NL or 22 9 3 NL

* Not yet in EN 10028-7. EAM-process to be ready during 2011.

Welding of austenitic-ferritic stainless steel, standard grades, 1.4362 and 1.4462

15. The most widely used austenitic-ferritic stainless steel today is 1.4462. The best results can be obtained with the use of designed fillers. Both grades can be welded with high productivity methods (kg/h). For heavy gauge thickness, the use of heat input up to 3 kJ/mm can often be used without impairing weld metal properties.

Less alloyed, “Lean” austenitic-ferritic stainless steel grade(s) like 1.4162

16. This steel is one of the lowest alloyed steel in this group. Members of this group can be TIG welded with or, in certain cases, without filler material. The high strength of the parent material means that the use of filler and/or nitrogen addition in the shielding gas when TIG welded may be necessary.

If high impact strength is required at sub-zero temperatures, slag-forming welding methods giving a large degree of fusion of parent metal (low Ni-content) should be avoided. This is for example the case when SAW is carried out with high input giving a high degree of fusion.

A typically used heat input interval for this steel is 0.3-1.5 kJ/mm. The level is strongly dependent of welding method and material thickness.

High alloyed austenitic-ferritic stainless steel grades like 1.4501 and 1.4410

17. These highly alloyed grades are more prone to intermetallic precipitation in the weld metal. For this reason the heat input should be below 1-1.5 kJ/mm and the interpass temperature should not exceed +100 °C. If welding is done from only one side and the root side will be exposed to corrosive media, it is important to make the root thick and following beads thin with low heat input. This minimizes the amount of detrimental sigma phase in the root. For SAW, the wire should not exceed Ø2.4 mm to facilitate low heat input welding.

Ref: Outokumpu Welding Handbook, pages 88-90.