



# Исследование влияния содержания легирующих элементов на фазовый состав, микроструктуру и предельную горячую пластичность трип-стали 23X15H5CM3Г

Буржанов А.А. Филиппов Г.А.

ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧЕРМЕТ им.И.П.Бардина», г. Москва, Россия Iqs12@yandex.ru, lab@bk.ru

Используемая в авиационной технике трип-сталь 23X15H5CM3Г, обладает более высокой стойкостью против усталостного разрушения по сравнению с конструкционными сталями. После закалки трип-сталь имеет структуру метастабильного аустенита и в процессе холодной деформации претерпевает  $\gamma \rightarrow \alpha$  мартенситное превращение, что приводит к упрочнению сплавов при сохранении высокой пластичности.

В настоящей работе исследовано влияние содержания легирующих элементов на микроструктуру и предельную горячую пластичность трип-стали 23X15H5CM3Г. Обе сравниваемые стали подвергались одинаковым технологическим обработкам, в одинаковых условиях, различие статей заключалось в легировании.

Так для стали №1 и №2:

- значения Si в стали №2 выше, чем в стали №1 на 0,15; Cr на 0,38; Ni на 0,19; Al на 0,013; Ti больше на 0,006 % масс; N2 больше на 0,016 при содержании C в стали №1 0,22 и в стали №2 0,23.

Размер зерна аустенита после термообработки ( $T=1100^\circ\text{C}$ ) в стали плавки №1 равен  $D=36\text{мк}$ , а в стали плавки №2  $D=24\text{мк}$ .

Определение предельной пластичности в условиях горячей пластической деформации проводили на комплексе физического моделирования «GLEEBLE 3500».

По результатам исследования плавки существенно различаются между собой по дисперсности структуры, что определяет разные значения напряжения течения, так для плавки №2 при температурах от 900 до 1250 °C значения  $\sigma_y$  выше на 25-10 Н/мм<sup>2</sup>.

Из сопоставления значений предельной пластичности обеих плавки установлено, что плавка №2 показывает больший диапазон допустимых деформаций до образования трещин, а у плавки №1 наблюдается некоторая потеря пластичности при нагреве выше 1200°C.

По результатам рентгеновского исследования, фазовый состав горячекатаного подката плавки №1 состоит из  $\gamma$ -фазы (76,7 - 78%), обнаруживается  $\epsilon$ -мартенсит (11,3 - 8%) и следы  $\alpha$ - мартенсита охлаждения (2 - 3%), так же в подкате плавки №1 обнаруживаются карбиды ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ).

Горячекатаный подкат плавки №2 состоит из  $\gamma$ -фазы (88,0%),  $\epsilon$ -мартенсита (10%), также присутствуют следы  $\alpha$ - мартенсита охлаждения (2%), карбиды не обнаруживаются.

При сравнении полученных механических свойств данных плавки временное сопротивление  $\sigma_B$  плавки №1 оказалось выше на 167 Н/мм<sup>2</sup>, однако значения относительного удлинения  $\delta$  плавки №1 на 19% ниже значений плавки №2.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что для данной марки стали незначительное изменение химического состава, приводит к изменению свойств, что в свою очередь отражается на технологичности металла во время производства и его итоговых свойствах в готовой холоднокатаной ленте.

## Исследование предельной пластичности (раскрытие трещины под действием растягивающих напряжений) Комплекс физического моделирования «GLEEBLE 3500»

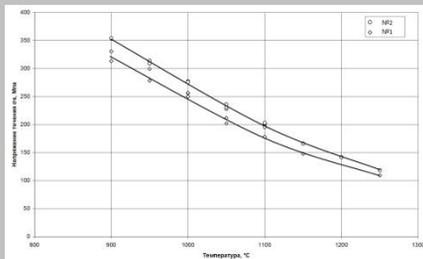


Внешний вид образцов (плавка №1) после испытаний с различной степенью деформации: а — осадка на 15 мм; б — осадка на 10 мм; в — осадка на 5 мм

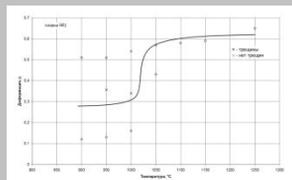
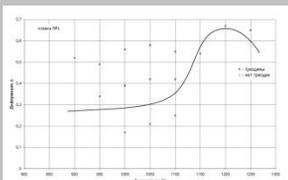


Внешний вид образцов (плавка №2) после испытаний с различной степенью деформации: а — осадка на 15 мм; б — осадка на 10 мм; в — осадка на 5 мм

Как видно из приведенных фотографий плавки существенно различаются по дисперсности структуры



Как видно из приведенных фотографий плавки существенно различаются по дисперсности структуры, что определяет разные значения напряжения течения  $\sigma_y$



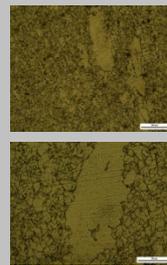
На рисунках представлены результаты определения предельной пластичности обеих плавки. Область диаграммы выше кривой соответствует появлению трещины на образцах при испытаниях в диапазоне температур и деформаций. Область диаграммы ниже кривой соответствует образцам, выдержавшим испытания (отсутствие раскрытых трещин).

Заключение:

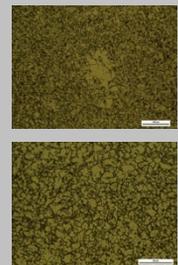
Как видно из результатов испытаний плавка №2 показывает больший диапазон допустимых деформаций до образования трещин. На плавке №1 наблюдается некоторая потеря пластичности при нагреве выше 1200°C.



## Металлографическое исследование образцов трип-стали после горячей прокатки и термообработки с последующим этапом травления



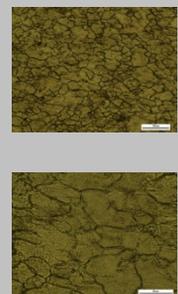
Разнообразие по всей поверхности с зернами размером от 13,0мк (9-10 балл) до 10,0мк. Плавка №1. Горячекатаный подкат (h = 4,00 мм).



Зерно однородное, равномерно распределенное с размером 9,3мк (11 балл), зерна крупного размера (6). Значит встречается раскол. Плавка №2. Горячекатаный подкат (h = 4,40 мм).



Значит разнообразие. Средний размер зерен 37мк (6-7 балл). Плавка №1. Лента (h = 0,8мм) в нагартованном состоянии (epsilon = 34%).



Значит незначительная разнообразие. Средний размер зерен 25мк. Плавка №2. Лента (h = 0,3мм) в нагартованном состоянии (epsilon = 33%).

## Исследование фазового состава образцов горячекатаного подката и холоднокатаной ленты из трип-стали.

h, %	Фазовый состав						C <sub>23</sub> C <sub>6</sub> , %
	γ, %	ε, %	α, %	α <sub>охлажд</sub> , %	β, %	δ, %	
Горячекатаный подкат (D=0,8мм) из стали №1, структура 1							
76	76,7	11,3	2	8	11	-	
Горячекатаный подкат (D=0,8мм) из стали №2, структура 2							
76,7	76,7	10	2	11,3	10	-	
Горячекатаный подкат (D=4,4мм) из стали №2							
88,0	88,0	10	2	10	-	-	
Холоднокатаная лента (D=0,8мм) из стали №1, нагартованное состояние (ε=34%)							
13	88,4	10	2	-	-	-	
Холоднокатаная лента (D=0,3мм) из стали №2, нагартованное состояние (ε=33%)							
18	88	10,2	12	-	-	-	

-В горячекатаном подкате плавки №1 обнаруживаются карбиды ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ).

- Фазовый состав горячекатаного подката плавки №1 состоит из  $\gamma$ -фазы (76,7 - 78%), обнаруживается  $\epsilon$ -мартенсит (11,3 - 8%) и следы  $\alpha$ - мартенсита охлаждения (2 - 3%).

- Фазовый состав горячекатаного подката плавки №2 состоит из  $\gamma$ -фазы (88,0%),  $\epsilon$ -мартенсита (10%), также присутствуют следы  $\alpha$ - мартенсита охлаждения (2%), карбиды не обнаруживаются.

- После глубокого (0,33-0,35мм) дополнительного травления термообработанных и травленных по заводской технологии образцов обнаруживается  $\alpha$ -мартенсит охлаждения в плавке №1 - 1,7-4,7%, а в плавке №2- 2%.

- Фазовый состав готовой (нагартованной) ленты 0,3 и 0,8мм – аустенит ( $\gamma$ ) + мартенсит деформации ( $\alpha_{деф}$ ) + мартенсит охлаждения.