

Исследование структуры и свойства сталей с метастабильным аустенитом

И.А. Пономарев, М.Ю. Филиппов, И.С. Аникин, Ю.О. Филиппов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

В работе проведен анализ формирования структуры сталей с метастабильным аустенитом и влияния легирующих элементов на TRIP-эффект. Исследована структура металла, наплавленного порошковой проволокой, и определено влияние на нее ударной нагрузки.

Ключевые слова: метастабильный аустенит, мартенсит, структура, ударная нагрузка

Значительная часть узлов и деталей машин работает в условиях ударного и ударно-абразивного воздействия, в результате чего они интенсивно изнашиваются и требуется их восстановление или замена, что влечет дополнительные затраты на производство. Одной из наиболее эффективных технологий упрочнения и восстановления деталей является наплавка порошковыми проволоками [1, 2], в том числе, с получением структуры с метастабильным аустенитом или ТРИП стали [3, 4]. Аббревиатура ТРИП (TRIP - transformation induced plasticity) или ПНП означает пластичность, наведенная превращением. Это особая группа сталей с высокими показателями прочности, пластичности и трещиностойкости.

Материалы, применяемые в настоящее время для наплавки деталей, работающих в сходных условиях изнашивания, применяются материалы, отличаются значительной степенью легирования, при этом дорогие легирующие элементы иногда используются неэффективно. Например, ПЛ-Нп-300Х25С4Н2Г2, 90Г13Н4, 110Х14В13Ф2, 65Х25Г13Н3 и др. В связи с этим, вопрос разработки экономно легированного материала с TRIP-эффектом, является актуальным.

В качестве объекта исследования использовалась сталь 30Х10Г10, созданная в УПИ под руководством М.И. Разикова, дополнительно легированная соединениями бора, которые показали свою эффективность в предыдущих работах [5].

Стали с TRIP-эффектом имеют микроструктуру, состоящую по меньшей мере пять объемных процентов остаточного аустенита, который встроен в основной матрице феррита. Микроструктура также содержит твердые фазы – бейнит и мартенсит в различных количествах. Присутствие остаточного аустенита в таких объемных долях в микроструктуре является результатом высоких содержаний углерода и кремния. Схема микроструктуры TRIP стали изображена на рис. 1.

Основным легирующим элементом является углерод, который определяет количество межкритического аустенита и приводит к сохранению аустенита в TRIP сталей. Введение марганца замедляет образование перлита и повышает прочность материала путем твердофазного упрочнения раствора. Кремний иг-

рает важную роль в стабилизации остаточного аустенита – он является элементом, который предотвращает и задерживает выделение карбида формированию бейнита.

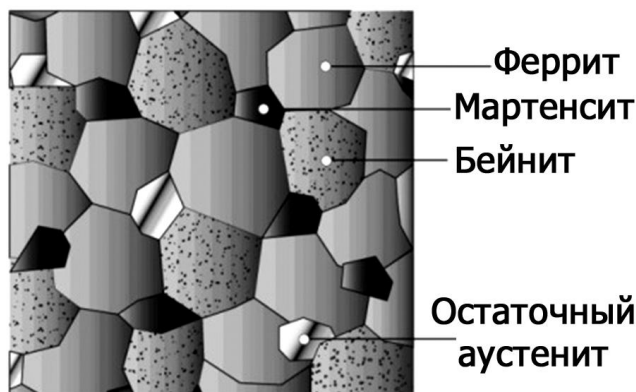


Рисунок 1 – Схема микроструктуры TRIP стали

Свойства материала могут быть улучшены путем добавления Nb или Ti в качестве легирующих элементов. Оба элемента вызывают эффект уменьшения размера зерна, подавление образования нежелательных перлита и задержки изотермического образования бейнита в области нормальных температур. Однако, указанные металлы являются довольно дорогостоящими.

Стабильность остаточного аустенита зависит от содержания углерода его в решетке (химическая стабильность), размера и распределения аустенитных зерен, а также морфологии окружающих фаз (механическая стабильность). Наилучшие механические свойства сплава отмечаются в случаях, когда остаточный аустенит присутствует в микроструктуре в виде тонких пленок между реек бейнитного феррита.

Зерна остаточного аустенита с размером более 1 мкм нестабильны, и не вносят существенный вклад в пластичность материала. С другой стороны, зерна остаточного аустенита с субмикронным размером имеют низкую тенденцию превращаться в мартенсит, т.е. также не влияют на свойства сплава. Таким образом, остаточный аустенит только с оптимальным содержанием углерода ($0,5-0,6\% < C < 1,8\%$) может обеспечить TRIP эффект.

Влияние изменения микроструктуры на физико-механические свойства сталей с метастабильным аустенитом делают металлографические исследования необходимыми для понимания происходящих процессов.

Химический состав исследуемой стали приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали 30X10Г10

С	Mn	Cr
0,3-0,4	9-11	9-11

Для изготовления порошковой проволоки использовали лабораторный стан [6].

Наплавку проводили в аргоне опытной порошковой проволокой диаметром 2,4 мм в 3 слоя на пластины из стали 20 размером 200×50×10 мм с предваритель-

ным подогревом. Режим наплавки: сила тока 230 А; напряжение дуги 24 В; скорость наплавки 20 м/ч.

Металлографические исследования наплавленного металла проводили на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver A1m и анализаторе фрагментов микроструктуры SIAMS 700 на базе микроскопа OLYMPUS GX41. Микроструктура выявлялась химическим травлением в реактивах составов: CuSO_4 – 4 г; HCl – 20 мл; H_2O – 20 мл и 4 %-ым раствором азотной кислоты.

Для анализа фрактограмм применялся растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50 с рентгеновским микроанализатором EDS X-Act (Oxford Instruments).

На рис. 2. приведена макроструктура, а на рис. 3 – микроструктура наплавленного слоя.



Рисунок 2 – Макроструктура сплава 30X10Г10, полученного наплавкой порошковой проволокой

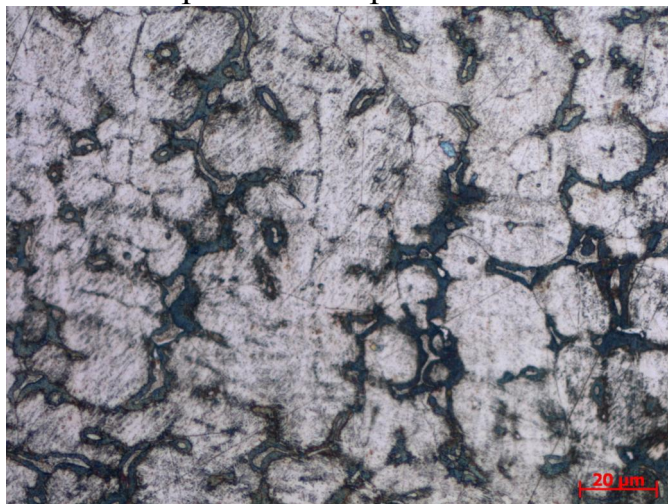


Рисунок 3 – Микроструктура сплава 30X10Г10, полученного наплавкой порошковой проволокой

На рисунке представлена типичная многофазная микроструктура TRIP сталей, состоящая из бейнита и остаточного аустенита, распределенного в ферритной матрице.

Стали с метастабильным аустенитом в закаленном состоянии имеют дос-

таточно высокие значения относительного удлинения и относительного сужения, это позволяет проводить холодную пластическую деформацию с высокими степенями обжатия. Пластичность и технологичность в процессе холодной пластической деформации связана с реализацией TRIP-эффекта, что вызывает релаксацию пиковых напряжений и позволяет увеличить суммарную степень обжатия без проведения промежуточных (смягчающих) отжигов, достигая высокопрочного состояния.

В работе для проведения ударных нагрузений применяли кузнечный молот ПКМ-20, достигая степени деформации 50-70 %.

На рис. 4. показано изменение структуры стали после ударной нагрузки.

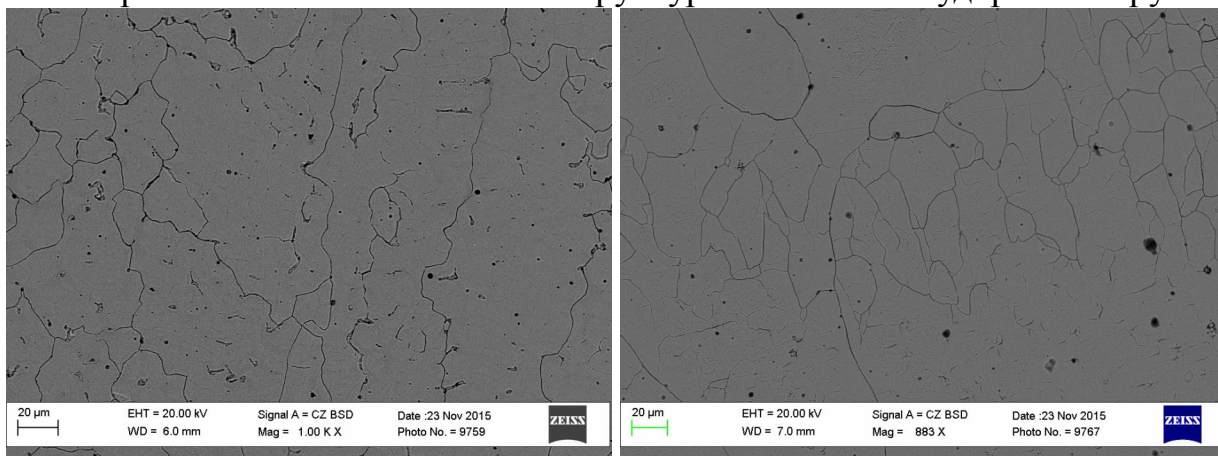


Рисунок 4 – Структура исследуемой стали: а – после наплавки; б – после ударного нагружения

Видно, что деформация приводит к повышению плотности дислокаций, появлению более мелких ориентированных кристаллитов размером от 50 нм до 200 нм.

Изучение фрактограмм (рис. 5) показало, что исходный наплавленный металл имеет участки как хрупкого, так и пластичного излома.

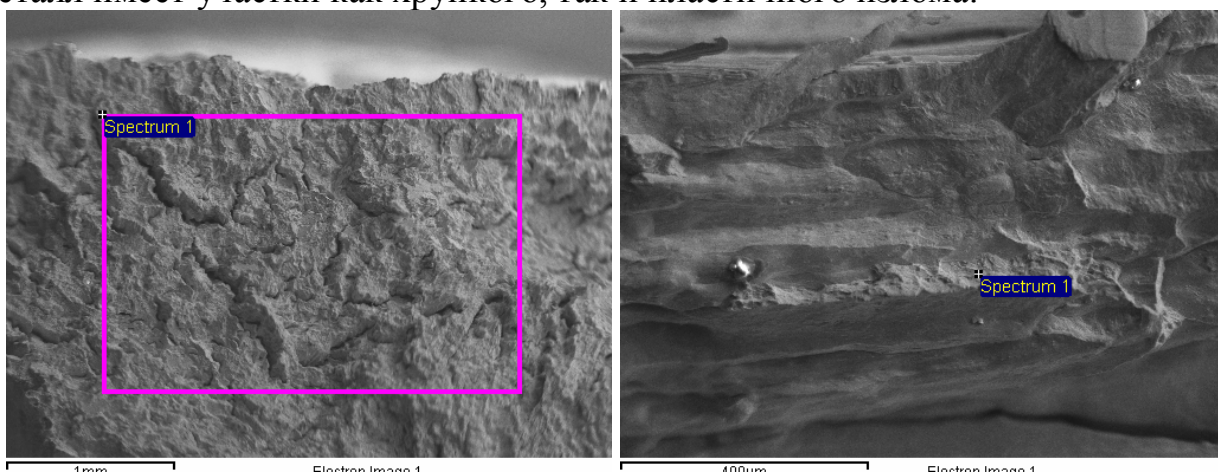


Рисунок 5 – Фрактограммы изломов: а – после наплавки; б – после ударного нагружения

По изломам видно, что деформационные процессы в метастабильных аустенитных сталях с ТРИП/ТВИП эффектом отличаются большим набором механизмов, взаимодействующих друг с другом сложным образом и сильно зави-

сящих от стабильности аустенита, определяемой химическим составом и температурой. Кроме дислокационного скольжения, элементарные механизмы включают двойникование, образование дефектов упаковки и фазовое превращение с образованием α -мартенсита.

Мартенситное превращение осуществляется путем сдвига и не сопровождается изменением состава твердого раствора. Сдвиговой механизм превращения отличается закономерным кооперативным направленным смещением атомов в процессе перестройки решетки. Отдельные атомы смещаются друг относительно друга на расстояния, не превышающие межатомные.

Такой мартенсит является упорядоченным пересыщенным твердым раствором внедрения углерода в α – Fe: содержание углерода в мартенсите может быть таким же, как и в исходном аустените [7].

Таким образом, эффект упрочнения ТРИП сталей связан с их пластической деформацией (степень обжатия 50-80 %). Во время этого процесса, наклеп металла дополняется карбидным упрочнением – выделением дисперсных карбидов, растворенных в аустените. При этом аустенит обедняется углеродом и легирующими элементами и становится метастабильным. Такой аустенит, являясь вязкой составляющей металлической матрицы, обеспечивает лучшее по сравнению с мартенситом и ферритом удержание карбидов, и повышает стойкость к образованию и развитию трещин. Под воздействием абразива аустенит превращается в мартенсит деформации, резко увеличивая твердость поверхностного слоя. При этом значительная часть энергии внешнего воздействия расходуется на реализацию полиморфного превращения, а не на разрушение металла. По мере увеличения интенсивности ударного воздействия для достижения наибольшей износостойкости необходимо повышать в структуре количество аустенита и его стабильность, соответственно они должны регулироваться применительно к конкретным условиям эксплуатации.

Библиографический список

1. Еремин Е.Н. Повышение износостойкости ножей для поперечной резки горячего металла / Е. Н. Еремин, Ю. О. Филиппов, А. Е. Еремин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 10. – С. 37-39.

2. Еремин Е.Н. Исследование структуры и твердости металла зубьев венцов, наплавленных порошковой проволокой ПП-АН170 / Е. Н. Еремин, Т. А. Шевелева, Ю. О. Филиппов [и др.] // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 30-33.

3. Малинов Л.С. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2007. - 352 с.

4. Аникин И.С. Выбор порошковой проволоки для наплавки деталей работающих в условиях высоких контактных давлений/ И. С. Аникин, А. Е. Маталасова, А. С. Губина, Ю. О. Филиппов // Техника и технологии машиностроения: Матер. IV международной студенческой научно-практической конференции. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – С. 7-10.

5. Лосев А.С. Исследование влияния боридов на упрочнение мартенситностаряющей стали / А. С. Лосев, Е. Н. Еремин, Ю. О. Филиппов // Омский научный вестник. – 2010. – № 2 (90). – С. 131-134.

6. Бородихин С.А. Разработка стана для изготовления порошковой проволоки / С. А. Бородихин, А. Г. Софинская, Ю. О. Филиппов // Техника и технологии машиностроения: Матер. IV международной студенческой научно-практической конференции. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – С. 37-42.

7. Мальцева Л.А. Исследование формирования структуры метастабильной аустенитной стали 03X14N11K5M2ЮТ при деформационном воздействии / Л. А. Мальцева, Н. Н. Озерец, И. И. Косицына [и др.] // МиТОМ. – 2008. – № 10. – С. 19-23.