

## ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТАЛИ 12Х25Н16Г7АР

*Ключевые слова:* нержавеющие жаропрочные стали, ответственный узел, лазерная резка, лазерная сварка, сварное соединение.

Изделие, о котором пойдет речь в данной работе, является изделием ответственного назначения и изготавливается из высоколегированной жаропрочной стали аустенитного класса 12Х25Н16Г7АР (ЭИ835). Технология изготовления данной детали была разработана много лет назад, ввиду сложности своей конструкции и отсутствия альтернативных способов изготовления базовым в настоящее время является способ электроэрозионной резки. Однако опыт изготовления и эксплуатации данного изделия показал, что на изготовление затрачивается много времени, сил и средств – процесс имеет большую длительность производственного цикла и низкую производительность. В связи с условиями применения под действием внешних сил изделие испытывает большие нагрузки, вследствие этого возникают высокие внутренние напряжения. Однако базовый способ изготовления изделия ответственного назначения в достаточной мере не обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства и является очень затратным.

Цель работы – с помощью применения лазерных технологий увеличить прочность соединяемых деталей и, вследствие этого, прочность в целом, а также повысить экономическую эффективность процесса производства.

Рассмотрим некоторые вопросы свариваемости стали марки 12Х25Н16Г7АР.

Определим эквиваленты хрома и никеля [3, 5]:

$$Cr_{ЭКВ} = C_k + 1.5Si,$$

$$Ni_{ЭКВ} = Ni + 30C + 0.5Mn + 13H + 0.$$

Таким образом, минимальное значение  $Cr_{ЭКВ}$  составляет 24,5 %, максимальное значение – 27,5 %. Минимальное значение  $Ni_{ЭКВ}$  составляет 25,15 %, максимальное значение – 31,1 %. Тогда запас аустенитности  $Ni_{ЭКВ}/Cr_{ЭКВ}$  будет изменяться от 1,03 до 1,13.

Значительное число отечественных и зарубежных исследований [1–7], проведенных в области сварки аустенитных жаропрочных сталей, направлено на определение количества феррита, необходимого для предотвращения образования трещин и сигматизации. Для этих целей Сефериан [7], исходя из граничных условий существования сплавов с однофазной чисто аустенитной и двухфазной аустенитно-ферритной структурой, предложил линейную зависимость:

$$(\text{Cr})_p = 0.93(\text{Ni}) + 6.7.$$

Если эквивалент хрома больше расчетного  $(\text{Cr})_p$ , то считается, что сплав находится в ферритно-аустенитной области, и в этом случае количество феррита определяется по формуле:

$$\delta = 3|(\text{Cr}) - (\text{Cr})_p|.$$

При минимальном и максимальных значениях  $(\text{Cr})_p$ , равных 20,7 и 23,4 %, содержание феррита будет находиться в пределах от 3,8 до 4,1 %.

Таким образом, расчетные методы оценки свариваемости аустенитной жаропрочной стали при использовании лазерных процессов требуют корректировки и экспериментальной проверки.

Для проверки целесообразности использования лазерной сварки в качестве способа изготовления изделия ответственного назначения были проведены следующие мероприятия.

Образцы листовой заготовки в количестве пяти штук из стали 12Х25Н16Г7АР размерами 100×150×1,1 вырезали с помощью установки для лазерной резки RX-150, а затем они были сварены в стык с помощью роботизированной установки для лазерной сварки TruLaser 5020 согласно режимам, представленным в таблице 1.

Таблица 1

Режимы лазерной сварки

№ образ-ца	Толщина стали, мм	Параметры режимов					
		Мощность излучения, кВт	Диаметр волокна, мкм	Длина фокуса св.объек-тива, мм	Скорость сварки, м/мин	Сканирование луча	
						Часто-та, Гц	Ампли-туда, мм
1	1,1	0,65	50	300	1,02	0	0
2		1,00			3,00		
3		1,40			6,00		
4		0,85			1,02	100	0,5
5		1,60			3,00	100	0,5

После сварки были проведены металлографические исследования и механические испытания годных сварных образцов. Исследования показали, что

во всех образцах, кроме пятого, оказались непровары, обнаруженные при рентгеновском контроле. Механические свойства образца № 5:

угол загиба, град.....	180
предел прочности, кгс/мм <sup>2</sup> :	
основной металл.....	91,2
сварной шов.....	93

Примечание: разрыв по сварке.

Данные результаты позволяют сделать вывод о том, что при сварке пластин толщиной 1,1 мм из стали 12Х25Н16Г7АР со скоростью 3 м/мин, используя мощность в 1,6 кВт лазерного импульсного излучения волоконного лазера, можно получить сварной шов без дефектов по пределу прочности, превышающему основной металл. Уменьшение скорости сварки, мощности излучения или применение непрерывного характера нагрева пластин приводит к непровару в зоне сварного соединения.

Лазерная резка является высокоэффективным способом обработки тонколистового проката, она осуществляется под действием высокотемпературного лазерного излучения и «режущего» газа, в качестве которого используют азот. Также лазерная резка нержавеющей сталей имеет ряд неоспоримых преимуществ перед другими технологическими операциями резки металла, среди них – минимальная ширина реза, незначительная зона термического влияния, отсутствие деформаций и др. Поскольку любая термическая резка носит квазиустойчивый характер, это ведет к образованию шероховатости поверхности реза, в данном случае данный параметр составляет 70 мкм. Предел текучести этой марки стали является достаточно высоким, что не скажется на затруднении процесса вырезки заготовок.

Для дуговых способов сварки высоколегированных сталей аустенитного класса характерно длительное тепловое воздействие, которое может привести к изменению физических свойств материала и возникновению предпосылок к появлению межкристаллической коррозии. Чтобы предотвратить этот процесс при сварке, необходимо стараться уменьшить время теплового воздействия на свариваемые детали и обеспечить возможность их охлаждения в самый короткий срок. Учитывая большие скорости нагрева и охлаждения металла, свариваемого при помощи лазера, в нем отсутствуют условия роста зерна и образования  $\sigma$ -фазы.

Приняв во внимание результаты исследований и описанные ранее достоинства лазерных технологий в сравнении с базовым методом, можно сделать вывод, что изготовление изделия ответственного назначения из стали 12Х25Н16Г7АР с применением лазерных технологий является наиболее перспективным и прибыльным с точки зрения экономики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Масленков С. Б. Жаропрочные стали и сплавы: справочник. М.: Металлургия, 1983. 191 с.
2. Гудремон Э. Специальные стали: в 2 т. М.: Metallurgizdat, 1959. Т. 1. С. 579–580.
3. Макаров Э. Л., Якушин Б. Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов / под ред. Э. Л. Макарова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Бауман, 2014. 468 с.
4. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки : учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 531 с.
5. Любавский К. В., Тимофеев М. М. Дуговая сварка аустенитных жаропрочных сталей (сварка плавлением). М.: Машиностроение. 1968. 148 с.
6. Сефериан Д. Металлургия сварки. М.: Машгиз, 1968. 348 с.
7. Медовар Б. И. Сварка жаропрочных сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1968. 430 с.