

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

У статті описується сутність лазерної термічної технології. Розкриваються питання її використання для зварювання і різання великогабаритних заготовок з титанових сплавів. Обґрунтовуються переваги даної технології перед автоматичною аргонодуговою і плазмено-дуговою зварками. Також надаються перспективні аспекти лазерного зварювання по лазерному різі.

In the article essence describes the nature of laser thermal technology. The questions of its use open up for welding and scission of large purveyances from titanic alloys. Justified by the benefits of this technology to automated TIG and plasma arc welding. Also there are perspective aspects of the laser welding on a laser cutting.

Ключові слова лазерна термічна технологія, титанові сплави.

Применение титановых сплавов в современном машиностроении весьма широко. Ввиду таких качеств как, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость и легкость, титан и его сплавы используются в судостроении, самолетостроении и космической промышленности. Однако их обработка, как механическая так и термическая, влечет за собой ряд проблем. Например, механическая обработка титана аналогична обработке нержавеющей стали и значительно затруднена по сравнению с обычной сталью. Связано это с большой склонностью титана к налипанию и задиранию, обусловленной высоким коэффициентом трения, а также низкой теплопроводностью, что влечет за собой быстрый износ режущего инструмента. Указанные проблемы успешно решаются, и для их преодоления уже имеется ряд методов, при этом исследование в этом направлении продолжают и приносят весьма успешные результаты.

Не менее затруднительно использование титана как конструкционного материала, когда приходится титановые детали соединять друг с другом и с деталями из иных материалов. Для этого используются различные методы, в частности пайка и механическое закрепление. Основным же методом является сварка. В настоящее время широкое применение нашли автоматическая аргонодуговая сварка (ААрДС) и плазменно-дуговая сварка (ПДС), позволяющие получать удовлетворительное качество сварных соединений, но не решающие всех проблем, связанных со сваркой титана и его сплавов.

Основная проблема заключается в том, что титан обладает высокой химической активностью, ввиду чего расплавленный металл шва взаимодействует с кислородом, азотом и водородом воздуха. Взаимодействие с газами приводит к увеличению прочности и резкому снижению пластичности и ударной вязкости сварных соединений. Однако это не является единственным недостатком титана при его сварке. При высоких температурах (300 – 500⁰С) титан имеет склонность к росту зерна и изменению микроструктуры, что также приводит к увеличению хрупкости сварного шва [4].

Из-за высокой химической активности титановые сплавы удается сваривать дуговой сваркой в инертных газах неплавящимся и плавящимся электродом, дуговой сваркой под флюсом, электронным лучом, электрошлаковой и контактной сваркой. Расплавленный титан жидкотекуч, шов хорошо формируется при всех способах сварки. Основная трудность сварки титана – это необходимость надежной защиты металла, нагреваемого выше температуры 300⁰С, от воздуха.

В последнее время широкое применение получила лазерная термическая технология, преимуществом которой является тот факт, что она характеризуется большой плотностью мощности в пятне нагрева, большими скоростями нагрева и охлаждения и, как следствие, незначительным ростом зерна в зоне термического влияния (ЗТВ).

Процессы лазерной технологии относительно просты в осуществлении, легко управляемы, а высокая пространственно-временная локализованность излучения и отсутствие механического воздействия пучка лазера на объект обработки позволяют реализовать различные уникальные операции: сварку, резку, скрайбирование, поверхностное упрочнение и другие операции, осуществляемые на легко деформируемых изделиях и деталях, в том числе и вблизи теплочувствительных элементов [4].

Применительно к титановым сплавам данную технологию можно использовать в качестве лазерной сварки (ЛС) и лазерной резки (ЛР). Процесс сварки, плюс ко всему, является еще и высокопроизводительным (20 – 45 мм/с).

Все указанные преимущества делают лазерную технологию довольно перспективной для сварки титана и его сплавов.

Именно поэтому **целью данной статьи** является обоснование перспективности применения лазерной термической технологии для сварки и резки титановых сплавов.

Одним из важнейших свойств лазерного излучения является его монохроматичность, определяющая диапазон частот или длин волн, который занимает излучение, т.е. ширину его спектра.

Лазеры считают источником монохроматического излучения, так как значительная часть потока излучения приходится на очень узкий участок спектра излучения, не превосходящий сотых долей микрометра. Спектральная плотность мощности излучения лазеров на несколько порядков больше, чем у

других известных источников электромагнитной энергии [1].

Большая плотность мощности, достигаемая в острогофокусированном лазерном луче (значительно выше, чем в сварочной дуге, и на порядок выше, чем в электронном пучке), позволяет получать особые эффекты при обработке материалов. Например, можно достичь скоростей нагрева несколько десятков и даже сотен тысяч градусов в секунду.

Металл в этих условиях может интенсивно испаряться. Такие режимы используют для прошивки отверстий или при резке.

Интенсивный сосредоточенный нагрев обычно приводит и к чрезвычайно большой скорости охлаждения материала после прекращения воздействия луча. Можно создать условия охлаждения, при которых обрабатываемый металл после расплавления охлаждается так быстро, что процессы кристаллизации с образованием упорядоченной структуры происходят не успевают; при затвердевании образуется аморфный слой, обладающий специфическими свойствами.

В то же время расфокусированный лазерный луч может быть и очень «мягким», что позволяет его использовать в качестве универсального источника нагрева для сварки, резки, наплавки, пайки, термообработки и др.

В настоящее время лазерная термическая технология нашла широкое применение в промышленности вообще и в машиностроении в частности. Разработаны технологические процессы лазерной сварки, резки, наплавки, термообработки и др. [2].

Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки и скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча. Сущность процесса лазерной сварки заключается в расплавлении лучом свариваемых кромок заготовок, собранных с минимальными зазорами (0...0,2 мм), и последующей кристаллизации. Достоинствами лазерной сварки являются следующие характеристики: возможность вести процесс на больших скоростях – до 500 м/ч; узкий «ниточный» шов; чрезвычайно малая зона термического влияния; практически отсутствие деформаций изделия после сварки [2].

На рис.1 представлена схема лазерной сварки производимой быстроточным газоразрядным CO_2 – лазером ЛСУ-5. Максимальная мощность излучения установки – 5кВт. Для фокусировки излучения используется объектив Кассегрена с углом сходимости пучка излучения 6° . Мощность выходного излучения – 3кВт; заглубление фокальной плоскости луча – 1мм; скорость сварки – 30мм/с.

Для сравнительной оценки сварных соединений, полученных ААрДС, ПДС и ЛС по фрезерованным кромкам, проводят механические испытания. При оценке пластических свойств сварных соединений образцы испытывают на статическое действие нагрузки (испытание на растяжение), при этом расположение шва – продольное. Также проводят ударные испытания с «V» - образным надрезом.

Проведенные испытания показывают, что на поверхности пластин, сваренных всеми сравниваемыми способами, следов окисления нет. Визуальным способом и рентгенографическим контролем в швах и зонах термического влияния образцов трещин и скоплений пор не обнаруживаются.

Значения механических свойств сварных соединений представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что разрушение образцов полученных ПДС и ЛС с поперечным швом происходит по основному металлу.

Сварные соединения, полученные ЛС, как с поперечным, так и с продольным швом имеют значения предела прочности и относительного удлинения практически те же, что и основной металл.

Исследования геометрических размеров швов, полученных ААрДС, ПДС и ЛС показали, что ширина шва сварных соединений составляет, соответственно – 10,8; 5,8; 2,0 мм. Ширина ЗТВ – 2,4; 1,8; 1,2 мм.

Металлографические исследования выявили резкий рост зерна в соединениях полученных ААрДС и ПДС (средний диаметр зерен, соответственно 0,8 и 0,5 мм). Металл же шва и ЗТВ лазерных соединений имеет тонкоигольчатую структуру с зерном до 0,3 мм. В центре шва зерно более крупное, чем на периферии. Мелкодисперсная структура определяет высокие механические свойства соединений [5].

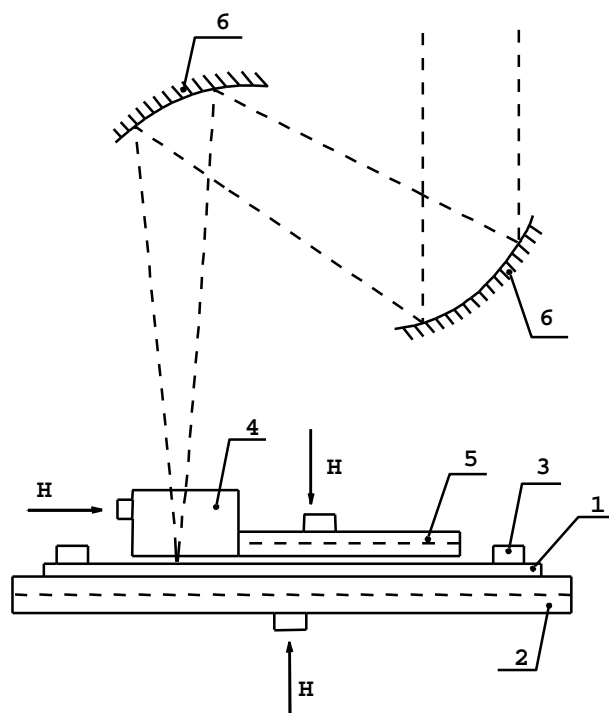


Рис.1. Схема лазерной сварки: 1 – образец; 2 – опора; 3 – прижим; 4 – сопло; 5 – козырек; 6 – зеркала фокусирующего объектива Кассегрена

Механические свойства сварных соединений, полученных ААрДС, ПДС, ЛС по фрезерованным кромкам (титановый сплав ОТ4, толщина 2 мм).

Испытания Вид сварки	Растяжение				Испытания на удар		
	Образец с поперечным швом		Образец с продольным швом		«V» – надрез по:		
	$S_{B, МПа}$	$d, \%$	$S_{B, МПа}$	$d, \%$	центру шва	линии сплавления	ЗТВ
Основной металл	790 ± 5	$19,2 \pm 0,5$	–	–	980 ± 40	–	–
ААрДС	$786 \pm 4^*$	$11,2 \pm 0,8$	780 ± 13	$16,7 \pm 1,1$	640 ± 40	590 ± 50	540 ± 40
ПДС	$790 \pm 13^{**}$	$19,1 \pm 0,4$	792 ± 10	$17,8 \pm 1,5$	620 ± 50	600 ± 20	550 ± 30
ЛС	$789 \pm 3^{**}$	$19,2 \pm 0,7$	796 ± 7	$19,1 \pm 0,9$	630 ± 30	600 ± 30	610 ± 40

Примечание: * – разрушение по ЗТВ; ** – разрушение по основному металлу.

Сварные соединения изделий из титановых сплавов, выполненные лазерной сваркой, обладают более высокими прочностными и пластическими характеристиками. При этом внедрение лазерной сварки обеспечивает снижение машинного времени сварки по сравнению с аргонодуговым процессом не менее чем в 10 раз [5].

Уникальные свойства лазерного излучения открывают большие возможности для более широкого применения лазерной термической технологии в промышленности. Именно поэтому она также успешно используется на операциях термической резки конструкционных материалов, в частности тех же самых титановых сплавов.

Сущность процесса лазерной резки состоит в локальном выплавлении материала под действием острогофокусированного луча и одновременно удаления расплава из зоны реза инертными нейтральными или активными газами, подаваемыми под давлением. Ширина реза может составлять 0,1...0,2 мм, при этом шероховатость поверхности незначительна. Процесс легко поддается автоматизации и может производиться с использованием систем с числовым программным управлением [3].

Например, при процессе газолазерной резки производимой на CO_2 – лазере мощностью до 5 кВт. Для фокусировки излучения используется соляная линза из KCl с фокусным расстоянием 180 мм. В целях исключения газонасыщения кромок используется инертный газ (например, аргон). Схема подачи газа соосная, давление газа 0,5 МПа. Скорость резки 60...75 м/час. Диаметр режущего сопла 2 мм, расстояние от сопла до изделия выдерживается близким к 2 мм. Луч фокусируется на поверхность изделия.

После газолазерной резки пластины, как правило, не имеют следов пластической деформации. Кромки реза блестящие и без следов окисления (с незначительным гратом на нижней кромке). Технология отработывалась в МГТУ им. Н.Э. Баумана на титановом сплаве ОТ4.

Оценка качества поверхности реза осуществлялась по следующим параметрам: шероховатость, отклонение поверхности реза от перпендикулярности и величина зоны термического влияния.

Шероховатость кромки определялась с помощью контактного профилометра «Калибр-201» и соответствовала $Rz 27,5...31,6$. Наибольшее отклонение поверхности реза от перпендикулярности при толщине разрезаемого материала 2 мм составила 0,05 мм. Ширина зоны термического влияния резов не превышала 0,30...0,35 мм. Структура этой зоны представляет собой игольчатый мартенсит. У кромок реза зерно более крупное, по мере приближения к основному металлу становится мельче. Микротвердость зоны термического воздействия, измеренная при нагрузке 0,5 Н соответствовала 2710...3230 МПа и практически не отличалась от микротвердости основного металла (2540...3210 МПа). Отставания нижней кромки реза не наблюдалось, риски на ней были практически вертикальными [4].

Из полученных экспериментальных данных видно, что лазерная резка имеет сразу несколько преимуществ по сравнению с другими видами резки металлов, а именно: высокую скорость, обеспечение параллельности кромок, узкую ширину реза, минимальную зону термического влияния. При этом лазерная резка выполняется с большей точностью, меньшим процентом отходов и допуском реза.

Одной из особенностей лазерной резки является отсутствие механического воздействия на материал, что дает возможность резки легкодеформируемых металлов. Конечно же, не маловажен вопрос высокой производительности процесса. Замена механической резки газолазерной позволяет в 8...10 раз уменьшить машинное время резки и в 3...5 раз снизить общую трудоемкость изготовления сварного изделия.

Получение заготовок из титановых сплавов под сварку связано со значительными материальными и трудовыми затратами. Заготовки, как правило, получают штамповкой с обязательной последующей механической обработкой кромок. Как уже было отмечено выше, высокая вязкость титановых сплавов приводит к появлению наростов на рабочей поверхности штампов, они выкрашиваются и изнашиваются гораздо быстрее, чем при штамповке углеродистых сталей. Низкие теплопроводность и удельная теплоемкость титана при механической обработке приводят к локальному перегреву зоны резания и быстрому выводу из строя дорогостоящего твердосплавного инструмента. Процесс резания производят с малыми подачами. Скорость обработки (например, фрезерования) составляет всего 0,3...2 мм/с, что делает процесс крайне малопродуктивным, особенно при получении заготовок сложной конфигурации.

Технологія же лазерної термічної різки дозволить суттєво знизити затрати на отримання заготовок, забезпечивши при цьому високе якість кромок.

Отримані газолазерною різкою пластини, повністю можуть бути зварені автоматичною аргонодуговою, плазменно-дуговою та лазерною зварками без проміжної механічної обробки. При товщині металу до 2-х мм, якість реза дозволить зібрати заготовку під зварку з зазором не більше 0,2 мм [5]. Така збірка дозволить отримувати більш якісні зварні з'єднання з використанням даних видів зварок.

Таким чином, лазерна термічна технологія може успішно застосовуватися в машинобудуванні на операціях зварки та різки титанових сплавів. При цьому рішення комплексних питань, тобто лазерної зварки титана та його сплавів по кромкам, отриманим лазерною різкою (без проміжної механічної обробки) є найбільш перспективним напрямком використання даної технології.

Література

1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Лазерная техника и технология: В 7 кн. – Кн. 5. Лазерная сварка металлов: Учебное пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. / Под ред. Григорьянца А.Г. – М.: Высшая школа, 1988. – 207 с.
3. Лазерная техника и технология: В 7 кн. – Кн. 7. Лазерная резка металлов. Учебное пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Соколов А.А. / Под ред. Григорьянца А.Г.:– М.: Высшая школа, 1988. – 127 с.
4. Измаилова Г.М. Лазерная термическая технология. Газолазерная резка титановых сплавов // Ученые записки Крымского государственного индустриально-педагогического университета. – 2002. – выпуск 3. – С. 15–19.
5. Измаилова Г.М., Шабдинов М.Л. Лазерная термическая технология: сварка титанового сплава // Ученые записки Крымского государственного инженерно-педагогического университета. – 2004. – выпуск 5. – С. 15–18.

Надійшла 6.9.2011 р.

УДК 687.03:685.34:67/68

С.В. ЧУМАКОВА, О.С. ПОЛІЩУК, А.К. КАРМАЛІТА
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРУБУВАННЯ ОТВОРІВ ПІД МЕТАЛЕВУ ФУРНІТУРУ У ВИРОБАХ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

З метою дослідження процесу вирубування отворів під металеву фурнітуру у виробі легкої промисловості, було розроблено експериментальний стенд. Він включає в себе: робочі інструменти (технологічне оснащення) для виконання технологічної операції вирубування отворів у матеріалі під металеву фурнітуру; силовий блок та комп'ютерну вимірювальну систему. В результаті проведених експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків визначено технологічні зусилля вирубування отворів під металеву фурнітуру у різних матеріалах. Проведено визначення роботи, необхідної для вирубування отворів в матеріалах експериментальним та теоретичним шляхом.

An experimental stand was developed to investigate the process of punching out the openings for metal accessories in light industry goods. It includes working instruments (technological equipment) for performing the technological operation of punching out the openings in the material for metal accessories; a power block and a computer measuring system. Technological force of punching out the openings for metal accessories in different materials was determined according to the result of the experimental research and theoretical calculations. The work determination necessary for punching out the openings in the materials by experimental and theoretical way was done.

Ключові слова: вирубування отворів; металеві фурнітури; пробійник; зусилля вирубування; робота вирубування

Вступ

В останнє десятиліття рівень асортименту і якості одягу, взуття, шкіряно-галантерейних виробів, що випускаються в Україні, значно підвищився. Цьому сприяє обов'язкова їх відповідність багатьом стандартам.

Металева фурнітура в багатьох виробі легкої промисловості часто визначає їх довговічність, а іноді і безпеку та термін експлуатації, який може скоротитися до декількох днів при наявності та застосуванні неякісної встановленої фурнітури.

Практично в Україні фурнітурної галузі не існує. Більшість фурнітурних підприємств або ліквідовані, або доведені до невеликих майстерень. Тому на ринку України існує дефіцит металеві фурнітури власного виробництва та робочих інструментів для її встановлення, зокрема пробійників, пуансонів та матриць.

Дефіцит фурнітури на ринку України заповнюють оптові приватні посередницькі фірми, що