

Машинобудування і зварювальне виробництво

В результате проведенных работ доказана эффективность применения способа уменьшения вибраций при зубонарезании червячными фрезами, заключающегося в управлении геометрическими параметрами, а именно углами наклона смежных стружечных канавок.

Выполнена оптимизация разницы углов наклона смежных канавок и предоставлены практические рекомендации по назначению их величин. По результатам проведенного анализа выявлено, что наибольший эффект от применения рассматриваемых конструкций зуборезных инструментов способны обеспечить их сборные варианты.

Прогнозируемый рост устойчивости сборных червячных фрез спроектированных по приведенным рекомендациям, а также повышение надежности их функционирования в составе технологической системы.

Ключевые слова. *Зубофрезерование, фреза червячная, виброустойчивость, технологическая система, оптимизация.*

Krepak O. S., Kudinova K. V., Manoilov O. V., Gagarin V. O.

INCREASING THE VIBRATION RESISTANCE OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM OF HIGH-SPEED GEAR MILLING OF CYLINDRICAL WHEELS DUE TO IMPROVEMENTS IN THE DESIGN OF WORM CUTTERS

The problem of ensuring reliable vibration-free functioning of the technological system of gear milling of cylindrical wheels with worm cutters is considered.

As a result of the work carried out, the effectiveness of using a method for reducing vibrations during gear cutting with worm cutters, which consists in controlling geometric parameters, namely the angles of inclination of adjacent chip grooves, was proved.

The difference in slope angles of adjacent grooves is optimized and practical recommendations are given for assigning their values. According to the results of the analysis, it was revealed that the greatest effect from the use of the considered designs of gear-cutting tools can be provided by their prefabricated versions.

A significant increase in the stability of prefabricated worm cutters designed according to the above recommendations is predicted, as well as an increase in the reliability of their functioning as part of the technological system.

Keywords. *Gear milling, worm cutter, vibration resistance, technological system, optimization.*

Стаття надійшла 10.01.2022 р.

УДК 621.791.75

doi.org/10.31498/2522-9990252023286586

Щетинін С.В., Щетиніна В.І.

СТАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

Трубы для газо- і нафтопровідних магістралей експлуатуються при високих тисках і низьких температурах, тому виготовляються з високоміцних сталей, при зварюванні яких трудно забезпечити ударну в'язкість зварних з'єднань. При електродуговому зварюванні труб значно зростає магнітне поле зварювального струму, магнітне дуття, електромагнітна сила відхиляє дугу в сторону меншого магнітного поля до обриву, довжина дуги зростає, стабільність процесу і формування швів порушується, що приводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Природа зниження ударної в'язкості зварних

Машинобудування і зварювальне виробництво

з'єднань при зварюванні полягає в нагріванні метала шва і зони термічного впливу, тепловкладення, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, виникненні зварювальних напруг, зростанні міжатомної відстані та зниженні міжатомних зв'язків. Ефективним способом зниження енергії є підвищення швидкості зварювання, що зменшує погонну енергію, і напруги на дугі. Скорочення довжини дуги і напруги на дугі приводить до зниження діючої на дугу електромагнітної сили, підвищенню стабільності процесу, якості швів і ударної в'язкості зварних з'єднань. Встановлено, що статична характеристика $U_d = f(I)$ при $I_d = \text{const}$ відкритої дуги, що горить на стрічковому електроді, як і на дротяному, має U – образну форму). Падаюча характеристика при малоамперній дугі перетворюється на незалежну. Перехід до зростаючої характеристики відбувається для стрічкового електрода при нижчих значеннях струму ($I = 90 \text{ A}$), ніж для дротяного ($I = 200 \text{ A}$), що пояснюється припиненням зростання площі катодної плями на стрічці через обмеженість перерізу при нижчих значеннях струму порівняно з дротом. При однаковому значенні струму ($I > 90 \text{ A}$) дуга, що горить у відкритій атмосфері на стрічковому електроді, більше стиснена, ніж на дротяному. При односторонньому високошвидкісному зварюванні на низькій напруги на дугі зменшується енергія, зростає швидкість обертання і охолодження дуги, діаметр дуги зменшується, дуга концентрується, ефективність тепловкладення зростає, зона термічного впливу скорочується, забезпечується саморегулювання, рівновага, якісне формування швів і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань. Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом, який за рахунок зниження напруги на дугі забезпечує зменшення енергії, тепловкладення, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, збільшення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази. Мінімум енергії – максимум ударної в'язкості зварних з'єднань.

Ключові слова. Статична характеристика дуги, низька напруга на дугі, стабільність процесу, одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, ударна в'язкість зварних з'єднань.

Постановка проблеми. Труби для газо- і нафтопровідних магістралей є відповідальною конструкцією і виготовляються з високоміцних сталей 09Г2С, 10Г2С1, при зварюванні яких трудно забезпечити ударну в'язкість зварних з'єднань. При зварюванні, в результаті тепло вкладення, метал піддається впливу термодформаційного циклу, який визначає мікроспотворення кристалічної решітки та мікронапруги. Тому розробка процесу одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує зменшення енергії, тепловкладення, підвищення стабільності процесу і ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Труби для газо- і нафтопровідних магістралей експлуатуються в умовах високих і низьких температур, тому ударної в'язкості зварних з'єднань приділяється велике значення. При електродуговому зварюванні, під дією тепла дуги, виділеного в активних плямах, метал при температурі плавлення 1539°C нагрівається на аноді до температури кипіння 2740°C , на катоді до 2540°C , на 200°C менше, порушується кристалічна решітка, виникають зварювальні напруги, що приводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Одночасно при нагріванні метал розширюється, міжатомна відстань збільшується і міжатомні зв'язки знижуються, тому, для підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, необхідно зменшувати енергію і тепловкладення. Ефективним способом зменшення енергії є підвищення швидкості зварювання, з зростанням якої погонна енергія знижується і зварювання на низькій напруги на дугі, що визначається

Машинобудування і зварювальне виробництво

статичною характеристикою дуги. Однак, статична характеристика зварювальної дуги, яка визначає умови існування дуги, досліджена недостатньо [1–11].

Мета дослідження. Встановити механізм регулювання енергії і розробити процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує стабільність процесу і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань

Основний матеріал досліджень. Статична характеристика зварювальної дуги, яка представляє залежність напруги від зварювального струму, визначає умови існування дуги, стабільність процесу, формування швів і ударну в'язкість зварних з'єднань. Основним фактором, що підвищує ударну в'язкість зварних з'єднань, є висока швидкість зварювання, яка зменшує погонну енергію, тепловкладення, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, зварювальні напруги, здрібнює мікроструктуру, зменшує міжатомну відстань і збільшує міжатомні зв'язки.

При односторонньому високошвидкісному зварюванні важливо забезпечити рівновагу дуги і рідкого металу ванни, що визначається статичною характеристикою дуги (рис.1), яка залежить від форми електроду. При зварюванні дротяним електродом дуга обертається по концентрованому торцю дроту, при зварюванні стрічковим електродом дуга обертається по торцю стрічки, що встановлено при високошвидкісній кінозйомці, зі швидкістю 1500 кадрів в секунду руху дуги при підйомі стрічки.

Побудову статичної характеристики проводили на прямій полярності для стрічки перерізом $(45 \times 0,5) \cdot 10^{-3}$ м та дроту діаметром $5 \cdot 10^{-3}$ м, при збудженні дуги довжиною $4 \cdot 10^{-3}$ м.

При побудові статичних характеристик дуги в відкритій атмосфері напругу визначали по осцилограмі, в момент встановлення заданої довжини дуги. Встановлено (рис.1), що у відкритій атмосфері градієнт потенціалу стовпа дуги, що горить на стрічковому електроді, вище, ніж на дротяному, внаслідок стиснення стовпа при охолодженні, під час руху дуги по торцю стрічки:

$$E = \frac{I}{\pi R^2 \gamma}, \quad \text{В/м}, \quad (1)$$

де, I – струм, А;

R – радіус стовпа, м;

γ – питома електрична провідність, $1/\text{Ом}$.

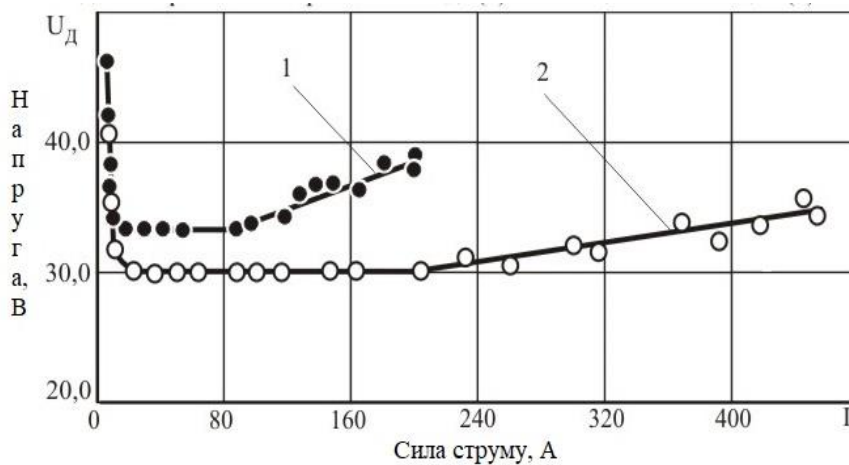


Рисунок 1 – Статична характеристика відкритої дуги довжиною $4 \cdot 10^{-3}$ м:
1 - стрічка перерізом $(45 \times 0,5) \cdot 10^{-3}$ м; 2 - дрот діаметром $5 \cdot 10^{-3}$ м .

Машинобудування і зварювальне виробництво

Встановлено, що статична характеристика $U_d = f(I)$ при $l_d = const$ відкритої дуги, що горить на стрічковому електроді, як і на дротяному, має U – образну форму (рис.1). Падаюча характеристика при малоамперній дузі перетворюється на незалежну. Перехід до зростаючої характеристики відбувається для стрічкового електрода при нижчих значеннях струму ($I = 90 A$), ніж для дротяного ($I = 200 A$), що пояснюється припиненням зростання площі катодної плями на стрічці через обмеженість перерізу, при нижчих значеннях струму, порівняно з дротом. При однаковому значенні струму ($I > 90 A$) дуга, що горить у відкритій атмосфері на стрічковому електроді, більше стиснена, ніж на дротяному.

При зварюванні на низькій напрузі на дузі зростає швидкість обертання дуги, охолодження і зменшується діаметр дуги, що посилює пінч-ефект, концентрацію і саморегулювання дуги.

Саморегулювання пояснюють, як процес, який при постійній зміні довжині дуги відновляє її довжину шляхом зміни швидкості розплавлення електрода.

Найбільш ймовірно, що саморегулювання – результат обертання дуги і прагнення дуги горіти при низькій напрузі на дузі, згідно принципу мінімуму енергії Штеєнбека. Дуга горить по шляху найменшого опору.

Саморегулювання забезпечує рівновагу в зварювальній ванні, стабільність процесу якості швів і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Рух дуги визначається електромагнітною силою зварювального струму, збудженням її на ділянках, що розташовуються ближче до основного металу, або закорочуванням дугового проміжку в міру подачі електрода в реальному процесі зварювання.

При односторонньому зварюванні дуга занурена в ванну і розплавляє основний метал, за рахунок руху дуги по торцю електрода і зварювальній ванні, під дією магнітного поля зварювального струму.

Концентрація дуги забезпечує зниження енергії, зони термічного впливу, підвищення ефективності тепловкладення і ударної в'язкості зварних з'єднань.

Для одностороннього високошвидкісного зварювання рекомендується пологопадаюча характеристика, яка забезпечує стабільність процесу, підвищення саморегулювання і ударної в'язкості зварних з'єднань.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом, який, за рахунок зниження напруги на дузі, забезпечує зменшення енергії, тепловкладення, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Встановлені закономірності і розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом можуть бути використані при односторонньому високошвидкісному зварюванні котлів залізничних цистерн.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечують підвищення стабільності, якості та ударної в'язкості зварних з'єднань.

ВИСНОВКИ

Труби для газо- і нафтопровідних магістралей експлуатуються при високих тисках і низьких температурах, тому виготовляються з високоміцних сталей, при зварюванні яких трудно забезпечити ударну в'язкість зварних з'єднань.

При зварюванні труб значно зростає магнітне поле зварювального струму, магнітне дуття, електромагнітна сила відхиляє дугу в сторону меншого магнітного поля до обриву,

Машинобудування і зварювальне виробництво

довжина дуги зростає, стабільність процесу і формування швів порушується, що призводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань.

Природа зниження ударної в'язкості зварних з'єднань при електродуговому зварюванні полягає в нагріванні метала шва і зони термічного впливу, тепловкладення, мікростворення кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, виникненні зварювальних напруг, зростанні міжатомної відстані та зниженні міжатомних зв'язків.

Ефективним способом зниження енергії є підвищення швидкості зварювання, що зменшує погонну енергію, і напругу на дузі. Скорочення довжини дуги і напруги на дузі призводить до зниження діючої на дугу електромагнітної сили, підвищенню стабільності процесу, якості швів і ударної в'язкості зварних з'єднань.

Встановлено, що статична характеристика $U_d = f(I)$ при $l_d = const$ відкритої дуги, що горить на стрічковому електроді, як і на дротяному, має U – образну форму. Падаюча характеристика при малоамперній дузі перетворюється на незалежну. Перехід до зростаючої характеристики відбувається для стрічкового електрода при нижчих значеннях струму ($I = 90 A$), ніж для дротяного ($I = 200 A$), що пояснюється припиненням зростання площі катодної плями на стрічці через обмеженість перерізу при нижчих значеннях струму порівняно з дротом. При однаковому значенні струму ($I > 90 A$) дуга, що горить у відкритій атмосфері на стрічковому електроді, більше стиснена, ніж на дротяному.

При односторонньому високошвидкісному зварюванні на низькій напрузі на дузі зменшується енергія, зростає швидкість обертання і охолодження дуги, діаметр дуги зменшується, дуга концентрується, ефективність тепловкладення зростає, зона термічного впливу скорочується, забезпечується саморегулювання, рівновага, якісне формування швів і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом, який, за рахунок зниження напруги на дузі, забезпечує зменшення енергії, тепловкладення, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази. Мінімум енергії – максимум ударної в'язкості зварних з'єднань.

Список використаних джерел:

1. Рижов Р.М. Магнітне керування якістю зварних з'єднань / Р.М. Рижов, В.Д. Кузнецов. – К.: Екотехнологія, 2010. – 288 с.
2. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги / И.Г. Кесаев. – М.: Наука, 1968. – 244 с.
3. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. – М.: Машиностроение, 1970. – 334 с.
4. Кривцун И.В. Комбинированные лазерно-дуговые процессы обработки материалов и устройства для их реализации. – Дис. докт. техн. наук: / И.В. Кривцун. – Киев, 2002. – 393 с.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. – М.: Наука, 1992. – 536 с.
6. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В.Л. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 543 с.
7. Финкельбург В. Электрические дуги и термическая плазма / В. Финкельбург, Г. Меккер. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 369 с.
8. Уайт Р.М. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1972. – 306 с.
9. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. М.: Наука, 1969. – 824 с.

10. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, В.Д.Кузнецов, А.Н.Брискман, Г.М.Шеленков.–К.: Техника, 1983.– 127с.

11. Черныш В.П., Рыжов Р.Н. Зависимость параметров управляющего магнитного воздействия от энерговложения встык при дуговой сварке / В.П. Черныш, Р.Н. Рыжов //Автоматическая сварка. – 1998. – №5. – С.49 –51.

Щетинин С.В., Щетинина В.И.

СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Трубы для газо- и нефтепроводных магистралей эксплуатируются в условиях высоких давлений и низких температур, поэтому изготавливаются из высокопрочных сталей, при сварке которых трудно обеспечить ударную вязкость сварных соединений.

При электродуговой сварке труб для газо- и нефтепроводных магистралей возрастает магнитное поле сварочного тока и электромагнитная сила, которая отклоняет дугу в сторону меньшего магнитного поля до обрыва, стабильность процесса и формирование швов нарушается, что приводит к снижению ударной вязкости сварных соединений. Уменьшение длины дуги и напряжения на дуге снижает электромагнитную силу, повышает стабильность процесса, качество швов и ударную вязкость сварных соединений.

Природа снижения ударной вязкости сварных соединений при электродуговой сварке заключается в нагревании металла шва и зоны термического влияния, тепловложения, микроискажении кристаллической решетки, микронапряжении, плотности дислокации и возникновении сварочных напряжений, увеличении межатомного расстояния и снижении межатомных связей. Эффективным способом снижения энергии является повышение скорости сварки и напряжения на дуге.

Установлено, что статическая характеристика $U_d = f(I)$ при $I_d = \text{const}$ открытой дуги, горячей на ленточном электроде, как и на проволочном, имеет U – образную форму. Падающая характеристика при малоамперной дуге переходит в независимую. Переход к возрастающей характеристике происходит для ленточного электрода при более низких значениях тока ($I = 90 \text{ A}$), чем для проволочного ($I = 200 \text{ A}$), что объясняется прекращением роста площади катодного пятна на ленте из-за ограниченности сечения при более низких значениях тока по сравнению с проволокой. При одинаковом значении тока ($I > 90 \text{ A}$) дуга, горящая в открытой атмосфере на ленточном электроде, более сжата, чем на проволочном.

При односторонней высокоскоростной сварке на низком напряжении на дуге уменьшается энергия, повышается скорость вращения и охлаждения дуги, сокращается диаметр дуги, дуга концентрируется, эффективность тепловложения возрастает, зона термического влияния сокращается, усиливается саморегулирование, равновесие, стабильность процесса, качественное формирование швов и повышение ударной вязкости сварных соединений.

Разработан процесс односторонней высокоскоростной сварки труб для газо- и нефтепроводных магистралей составным электродом, который за счет снижения напряжения на дуге обеспечивает уменьшение энергии, тепловложения, сварочных напряжений, измельчение микроструктуры, уменьшение межатомного расстояния, повышение межатомных связей и ударной вязкости сварных соединений в 2 – 2,5 раза. Минимум энергии – максимум ударной вязкости сварных соединений.

Ключевые слова. Статическая характеристика дуги, низкое напряжение на дуг, стабильность процесса, односторонняя высокоскоростная сварка труб для газо- и нефтепроводных магистралей, ударная вязкость сварных соединений.

Shetinin S.V., Shetinina V.I.

THE WELDING ARC STATIC CHARACTERISTIC

Pipes for gas and oil pipelines are operated at high pressures and low temperatures, which is why they are made from high strength steels, which make it difficult to ensure the welded joints impact toughness.

In electric arc welding of pipes for gas and oil pipelines, the welding current magnetic field and the electromagnetic force increase, which deflects the arc towards a lower magnetic field until it breaks, the process stability and the welds formation are disturbed, which leads to a decrease in the welded joints impact toughness. Reducing the arc length and the arc voltage the reduces the electromagnetic force, increases the process stability, the welds quality and the welded joints impact toughness.

The nature of reducing the welded joints impact toughness in electric arc welding consists in heating the weld metal and the heat-affected zone, heat input, microdistortion of the crystal lattice, microstress, dislocation density and the welding stresses occurrence, increasing the interatomic distance and reducing interatomic bonds. An effective way to reduce energy is to increase welding speed and arc voltage.

It has been established that the static characteristic $U_d = f(I)$ at $l_d = \text{const}$ of an open arc burning on a strip electrode, as well as on a wire one, has a U-shaped shape. The falling characteristic with a low-ampere arc becomes independent. The transition to an increasing characteristic occurs for a strip electrode at lower current values ($I = 90$ A) than for a wire electrode ($I = 200$ A), which is explained by the cessation of growth in the cathode spot area on the tape due to the limited cross section at lower current values along compared to wire..At the same current value ($I > 90$ A), the arc burning in the open atmosphere on a strip electrode is more compressed than on a wire one.

With one-sided high-speed welding at low voltage, the arc energy is reduced, the speed of rotation and the arc cooling is increased, the the arc diameter is reduced, the arc is concentrated, the heat input efficiency is increased, the heat-affected zone is reduced, self-regulation, balance, the process stability are enhanced, high-quality welds formation and increase the welded joints impact toughness.

A process for one-sided high-speed welding of pipes for gas and oil pipelines with a composite electrode, which, by reducing the arc voltage, reduces energy, heat input, welding stresses, refines the microstructure, reduces the interatomic distance, increases the interatomic bonds and the welded joints impact toughness 2 - 2.5 times, has been developed. Minimum energy - maximum the welded joints impact toughness.

Keywords. Welding arc static characteristic, low arc voltage, process stability, one-sided high-speed welding of pipes for gas and oil pipelines, welded joints impact toughness.

Стаття надійшла 15.01.2022 р.