

УДК 669.71

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.119

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОУТВОРЕННЯ СПЛАВУ 12X18H10T ТА МІДІ ПІСЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

Санін А. Ф., Мамчур І. О., Мамчур С. І., Носова Т. В.

Дніпровський Національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Анотація. Вивчено технологію з'єднання сплаву 12X18H10T та міді. Запропоновано використання зварювання тертям. Розглянуто параметри технологічного процесу зварювання тертям. Проводились дослідження зразків зварних з'єднань 12X18H10T + М1. Наведена мікроструктура деформованих зон зварного з'єднання 12X18H10T, отриманого за оптимальними параметрами. Установлена причина зниження механічних властивостей з'єднання 12X18H10T – М1.

Ключові слова: зварювання тертям, мікрорентгеноспектральні дослідження, мікротвердість, мікроструктура, зварне з'єднання.

Вступ

Сучасний розвиток техніки потребує використання нових технологій та матеріалів. Незважаючи на збільшення об'єму використання композиційних матеріалів, а особливо на основі полімерної матриці, металеві сплави залишаються незамінними. Завдяки фізико-механічним властивостям сплави на основі металів використовують у ракетно-космічній техніці, машинобудуванні та інших галузях виробництва.

Аналіз публікацій

Зварювання тертям було розроблено на початку 1956 р. у СРСР. З 60-х рр. інші країни також почали розвиток у напрямі зварювання тертям. Цей метод є різновидом зварювання тиском, під час якого нагрівання металу відбувається шляхом тертя однієї із частин виробу [1–4]. У кінці процесу відбувається остаточне з'єднання. Цей різновид зварювання використовується в авіабудуванні, ракетобудуванні, машинобудуванні тощо. В Україні дослідження в цьому напрямі проводяться в Інституті електрозварювання імені Євгена Патона.

Дослідження фазоутворення сплаву 12X18H10T та міді

Багато конструкцій потребує з'єднання різнофазних матеріалів. Проблемою є з'єднання металевих сплавів, які утворюють інтерметалідні сполуки. Як відомо, їхня об'ємна доля і розташування в перехідній зоні суттєво впливають на механічні властивості конструкції. Вирішення цієї проблеми полягає у виборі оптимального методу отримання конструкції та розрахунку технологічних параметрів. У цій роботі розглянуто тех-

нологію з'єднання сплаву 12X18H10T та міді. Запропоновано використання зварювання тертям. Цей метод дозволяє отримати високу якість з'єднань за рахунок видалення окисних та адсорбованих плівок, які завжди є на металевій поверхні, у процесі зварювання. Цей метод є високопродуктивним. Процес утворення фізичного контакту протікає за рахунок активації контактних поверхонь та об'ємної взаємодії. Водночас виникають такі явища: тепловиділення; зношення контактуючих поверхонь; безперервне утворення та руйнування зв'язків взаємодіючих поверхонь під час руху; миттєвий нагрів і швидке охолодження малих об'ємів металу під час тиску; наклеп металу; деформування мікрориступів поверхонь і прошарків металу; взаємна дифузія металів [1]. Авторами розглянуті параметри технологічного процесу зварювання тертям, установлено, що для зварювального з'єднання 12X18H10T + М1 $1 \cdot 10^{-3}$ осад нагріву можливо компенсувати, якщо замінити швидкість відносного обертання на 0,018 м/с, 10 МПа тиску нагріву, 24 МПа тиску проковки, або швидкістю проковки 0,850 с. Для з'єднання 12X18H10T + М1 вплив осаду під час нагрівання є складною залежністю, на яку впливає не тільки ступінь, а й швидкість деформації. У роботі проводили дослідження зразків зварних з'єднань 12X18H10T + М1. Використані методики:

- механічні іспити;
- металографічні та електронномікроскопічні дослідження;
- вимірювання твердості;
- мікрорентгеноспектральні дослідження.

Аналіз проведених досліджень показує, що для досліджуваного біметалевого з'єднання величина осаду під час нагрівання

дає стабільні результати за значеннями $(8-10) \cdot 10^{-3}$ м. Швидкість відносного обертання суттєво прискорює стабільність результатів та міцність конструкції. Але достатня міцність може бути отримана тільки за швидкості 0,8–1 м/с, тиску 50–80 МПа та осаду $(8-9) \cdot 10^{-3}$ м. Ці параметри дозволяють зменшити тривалість процесу зварювання тертям у 10 разів (1). Застосування тиску до 30 МПа забезпечує більшу тривалість процесу та низьку міцність. Тиск 50–80 МПа дозволяє отримати високу якість з'єднання. Авторами в роботі досліджувались зварювальні з'єднання з низькою міцністю, які були отримані за параметрів: відносна швидкість обертання 0,4 м/с, тиск під час нагрівання 80 МПа, тиск під час проковки 80 МПа, величина осаду $9 \cdot 10^{-3}$ м. Зразки з високою міцністю були отримані за режимом: відносна швидкість обертання 0,98 м/с, тиск під час нагрівання 50 МПа, тиск під час проковки 200 МПа, величина осаду $9 \cdot 10^{-3}$ м та тривалістю проковки 3 с.

На рис. 1 подана мікрофотографія зварного з'єднання, отриманого за параметрами, які забезпечили низьку міцність.



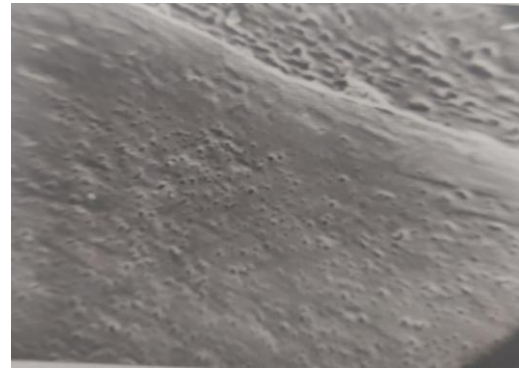
Сталь 12X18H10T
мідь М1х500

Рис. 1. Мікроструктура зони стику зварного з'єднання 12X18H10T – М1

Візуально грубі дефекти структури відсутні. Місце стику має підвищену протравлюваність. З боку сталі спостерігається підвищена кількість карбідних домішок. Вони орієнтовані паралельно зоні стику. З боку міді спостерігаються слабо протравлені межі зерен. Оптичні збільшення не дозволяють виявити інших мікроструктурних особливостей. Вимірювання мікротвердості дозволило визначити, що з боку міді мікротвердість має значно підвищені показники.

Використання РЕМ дозволило ідентифікувати додаткові деталі мікроструктури з'єднання.

На рис. 2 наведена мікрофотографія 12X18H10T – М1.



мідь М1

Рис. 2. Мікроструктура зони стику, отримана на РЕМ; х1000

З боку сталі спостерігаються карбідні коагульовані домішки, розташовані паралельно поверхні стику. Від зони стику сталі до міді не спостерігаються які-небудь домішки. Вглиб зони міді утворюються дрібнодисперсні частинки, які розташовані рівномірно по всій поверхні.

Проведений мікрорентгеноспектральний аналіз дозволив виявити тонку зону дифузійної взаємодії між матеріалами. На рис. 3 наведені криві розподілу елементів у зоні зварювання з'єднання 12X18H10T – М1.



Рис. 3. Криві розподілу елементів зварного з'єднання 12X18H10T – М1

Зона дифузійного розподілу міді менша, на концентраційній кривій міді розрізняються різкі зміни та декілька піків концентрації міді. Порівняння фонові частини кривої міді та частини дифузійної зони дозволяє зробити висновок, що в межах дифузійної зони та в міді концентраційна крива неоднорідна. Вона складається з невеликих піків на кривій міді в мікроділянках. Порівняння рис. 1 та 3 свід-

чить, що піки за вмістом міді пов'язані з наявністю дисперсних частинок.

Причина низької міцності з'єднань 12X18H10T – M1, які були отримані за режимами відносної швидкості обертання 0,4 м/с, тиску під час нагрівання 80 МПа, тиск під час проковки 80 МПа, величина осаду $9 \cdot 10^{-3}$ м – є наслідком різкого зниження температури в зоні зварювання (873–973 К). Щоб отримати необхідну деформацію, потрібно збільшити тривалість нагрівання. Було встановлено, що відносна швидкість обертання 0,4–0,5 м/с, тиску нагрівання 40 МПа, величина осаду $(8-9) \cdot 10^{-3}$ м, тривалість нагріву 90 с сприяє утворенню в дифузійній зоні частинок оксидів міді, які впливають на зниження міцності з'єднання. У роботі [2] автори вказують на необхідність підвищення швидкості зварювання за рахунок збільшення відносної швидкості обертання. Отже, проведені дослідження дозволили встановити, що основні структурні особливості взаємодії 12X18H10T та M1 під час зварювання тертям за наведеними параметрами сприяють внутрішньому окисленню в зоні зварювання за рахунок утворення з боку міді оксидних домішок.

Мікроструктура з'єднання, яке було отримано за оптимальних параметрів зварювання: відносна швидкість обертання 0,98 м/с, тиск під час нагрівання 50 МПа, тиск під час проковки 200 МПа, величина осаду $9 \cdot 10^{-3}$ м та тривалістю проковки 3 с наведена на рис. 3. Підвищення міцності забезпечується за рахунок зменшення кількості карбідної фази в деформованій зоні сталі 12X18H10T. У зразках із низькою міцністю ця зона має високу концентрацію карбідної фази, яка добре виявляється за причини підвищеної протравлюваності цього шару.

На рис. 2 відсутня підвищена протравлюваність та спостерігається незначна кількість дисперсних карбідів. З боку міді деформаційна зона знаходиться у поверхні контакту тертя та має дрібнозернисту структуру, яка орієнтована паралельно поверхні зварювання (рис. 1).

Проведене вимірювання мікротвердості за Вікерсом на зразках із низькою міцністю змінювались в деформованому шарі сталі від поверхні стику до основного металу від 3240 МПа до 2450 МПа; у деформованому шарі міді від 1020 МПа до 690 МПа. На зразках, які мали високу міцність, мікротвердість змінювалася з боку сталі від 2260 МПа у поверхні контакту до 2160 МПа, а в міді від 590 МПа до 460 МПа.

На рис. 1 наведена мікроструктура деформованих зон зварного з'єднання 12X18H10T, отриманого за оптимальними параметрами.

Висновки

У процесі дослідження авторами зроблені такі висновки:

- причина зниження механічних властивостей з'єднання 12X18H10T – M1, які були отримані за неоптимальними режимами, є зона підвищеної протравлюваності з боку міді;
- методом мікрорентгеноспектрального аналізу встановлено утворення значної кількості частинок оксиду міді;
- у зразках, які отримані за оптимальними режимами, у зоні деформації міді не спостерігається високої концентрації частинок оксиду міді;
- підвищення якості механічних властивостей за оптимальних режимів зварювання тертям забезпечується підвищенням швидкості зварювання до 1 м/с, зменшенням часу нагріву зварного з'єднання та часу внутрішнього окислення приконтатної зони міді.

Література

1. Сварка. Том 1. Развитие сварочной технологии и науки о сварке. Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование. Комов В.В., 1990. 536 с.
2. Сварка. Том 2. Теоретические основы сварки, прочности и проектирования. Сварочное производство. Комов В.В., 1995. 494 с.
3. Ольшанский Н.А., Николаев Г.А. Специальные методы сварки. Москва: Машиностроение, 1999. 232 с.
4. Теоретические основы сварки. Москва: Высшая школа, 2004. 592 с.
5. Герасименко А.И. Справочник электросварщика. Профессиональное мастерство, 2009. 271 с.
6. Моисеенко В.П. Материалы и их поведение при сварке. Высшее образование. 2009. 128 с.
7. Технология конструкционных материалов. Москва: Профессиональное образование, 2008. С. 55–167.
8. Володин В.Я. Современные сварочные аппараты. Санкт-Петербург: Наука и техника, 2008.
9. Воронин Н.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники. Высшее профессиональное образование, 2004. 345 с.

References

1. Welding. Volume 1. Development of welding technology and welding science. Technological processes, welding consumables and equipment. Komov V.V., 1990. 536 p.

2. Welding. Volume 2. Theoretical foundations of welding, strength and design. Welding production. Komov V.V., 1995. 494 p.
3. Olshansky N.A., Nikolaev G.A. Special welding methods. Moskva: Mechanical Engineering, 1999. 232 p.
4. Theoretical Foundations of Welding. Moskva: Higher School, 2004. 592 pp.
5. Gerasimenko A.I. Handbook of the electric welder, Professional skill, 2009. 271 p.
6. Moiseenko V.P. Materials and their behavior during welding, Higher education. 2009. 128 p.
7. Technology of structural materials, Professional education, 2008, 55–167 p.
8. Volodin V.Ya. Modern welding machines, Science and technology, 2008.
9. Voronin N.N. Materials science and technology of construction materials for railway equipment, Higher professional education, 2004, 345 p.

Санін Анатолій Федорович, д.т.н., проф, зав. каф. технології виробництва, afedsa60@gmail.com
Мамчур Ігор Олександрович, аспірант каф. технології виробництва, mamchurmoney@gmail.com,

тел.: (+038) 063-272-66-02

Мамчур Стелла Ігорівна, к.т.н., доц. каф. технології виробництва, 1964stella1965@gmail.com,

тел.: (+038) 098-411-22-46

Носова Тетяна Валеріївна, к.т.н., доц. каф. технології виробництва, amaretanya0512@gmail.com,
 тел.: (+038) 096-570-69-35

Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара, Дніпро, Україна

Studying phase formation of 12X18H10T alloy and copper after friction welding

Abstract. Problem. The technology of joining alloy 12X18H10T and copper has been studied. The use of friction welding is proposed. Modern development of technology requires the use of new technologies and materials. Despite the increase in the use of composite materials, and especially on the basis of the polymer matrix, metal alloys remain indispensable. Due to their physical and mechanical properties, metal-based alloys are used in rocket and space technology, mechanical engineering, and other industries. **Goal.** The aim of this work is the reason for the decrease in the mechanical properties of the connection 12X18H10T – M1, which were obtained under suboptimal conditions. Friction welding was developed in early 1956 in the USSR. Since the

1960s, other countries have also begun to develop friction welding. This tool is a type of pressure welding, during which the metal is heated by friction of one of the parts of the product. At the end of the process, the final connection takes place. This type of welding is used in aircraft construction, rocketry, machine building, etc. In Ukraine, research in this direction is conducted at the Eugene Paton Institute of Electric Welding. The parameters of the friction welding technological process are considered. **Results.** The samples of welded joints 12Kh18N10T + M1 were studied. The following methods were used: mechanical tests; metallographic and electro-microscopic studies; hardness measurements; micro-X-ray spectral study. **Originality.** Welding joints with low strength were investigated; they were obtained for the following parameters: relative rotation speed 0.4 m/s, pressure during heating 80 MPa, pressure during forging 80 MPa, upset value $9 \cdot 10^{-3}$ m samples with low strength varied in the deformed layer of steel from the joint surface to the base metal from 3240 MPa to 2450 MPa; in a deformed copper layer from 1020 MPa to 690 MPa. On samples that had high strength, the microhardness varied on the steel side from 2260 MPa in the contact surface to 2160 MPa, and in copper from 590 MPa to 460 MPa. Fig. 1 shows the microstructure of the deformed zones of the welded joint 12X18H10T, obtained according to the optimal parameters. **Practical value.** The reason for the decrease in the mechanical properties of the 12X18H10T – M1 joint was established.

Key words: friction welding, X-ray microscopy, microhardness, microstructure, welded joint.

Sanin Anatoly, Doct. of Science, professor, Head of the Department of Production Technology, afedsa60@gmail.com

Mamchur Igor, postgraduate student, Department of Production Technology, mamchurmoney@gmail.com,
 тел.: (+038) 063-272-66-02

Mamchur Stella, Ph.D., Associate Professor of the Department of Production Technology,
 tel.: (+38) 098-411-22-46,
 e-mail: 1964stella1965@gmail.com

Nosova Tetyana, Ph.D., Associate Professor of the Department of Production Technology,
 tel.: (+38) 096-570-69-35,
 e-mail: amaretanya0512@gmail.com
 Oles Honchar Dnipro National University, Scientific str., 1, Dnipro, 49000, Ukraine.