

УДК 621.9.06

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.29

ВПЛИВ ТЕРМООБРОБЛЕННЯ НА ВТОМНУ МІЦНІСТЬ ВУЗЛІВ ЗВАРНИХ СТАНИН ЗІ ЗБІРНИХ БАЗОВИХ ДЕТАЛЕЙ

Васильченко Я. В., Малигін М. О., Бережна О. В., Приходько О. В.
Донбаська державна машинобудівна академія

Анотація. У роботі досліджено проблему втомної міцності зварно-литих з'єднань під час роботи корпусних деталей машин. Розглянуто вплив технології оброблення на тип формування структури зварно-литих з'єднань та термооброблення на значення твердості зварного шва та навколошовної зони. Дослідження опору втомі зварно-литих зразків здійснено щодо умов роботи з'єднань, які зазнають за нормальних температур вібраційних навантажень, що можна класифікувати як втомні з симетричним циклом навантаження. Відповідно до результатів досліджень механічних характеристик обґрунтовано вибір технології виробництва зварно-литих з'єднань.

Ключові слова: зварно-литі конструкції, термічне оброблення, зварювання, структура, твердість, втомна міцність.

Вступ

Корпусні виливки верстатного обладнання – це фасонні литі вироби складної конфігурації зі змінною товщиною стінок і великою кількістю фланців. Під час виготовлення великогабаритних станин важких токарних верстатів (вантажопідйомністю понад 100 т і можливістю оброблення деталей, довжиною до 12 м) доцільне розчленування їх на окремі елементи меншої ваги та більш простої форми з наступним зварюванням [1]. Крім використання таких зварно-литих конструкцій, практичний інтерес має також застосування базових деталей, що складаються з лиття та прокату, оскільки не всі елементи конструкції навантажені однаково високо. Проектування та виробництво зварних з'єднань, замість суцільновідлитих з однакових або близьких за фізико-хімічними та механічними властивостями металів, але виготовлених різними способами отримання виробів з металів, відкриває широкі можливості для створення найбільш технологічних та раціональних конструкцій.

Аналіз публікацій

У процесі виробництва зварно-литих конструкцій або зварних вузлів з чавуну та сталі виникають складності через обмежену зварюваність: висока крихкість чавуну в разі нерівномірного нагрівання та охолодження є причиною виникнення тріщин під час зварювання; прискорене охолодження призводить до утворення відбілу в навколошовній зоні та ускладнює його подальше механічне оброблення; високе газоутворення в рідкій ван-

ні може призвести до утворення пор у зварних швах [2]. У зв'язку з цим доцільним та економічно вигідним є використання сталевого литва або його комбінації зі сталевим прокатом. Якщо у з'єднуваних елементах наявне фасонне литво, то це призводить до неоднорідності структури, що пов'язане з особливостями будови литої сталі на відміну від обробленої тиском [3]. Оскільки досліджувані несні конструкції важких верстатів працюють в умовах циклічного навантаження, то це знижує довговічність зварного з'єднання на відміну від суцільнолитого [4]. Оскільки структура металу визначає службові властивості з'єднань, аналіз структуроутворення шва й навколошовної зони, а також їхній вплив на втомну міцність є важливим елементом для вирішення питання щодо доцільності призначення технології виробництва конструкцій станин.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є дослідження міцності зварно-литих несних конструкцій під час роботи станин важких токарних верстатів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

– визначити доцільність термооброблення зварного з'єднання та її раціональну технологію;

– експериментально визначити вплив зміни твердості на рівень втомної міцності зварного з'єднання сталевого литва зі сталевим прокатом.

Проведення досліджень та обговорення результатів

З огляду на те, що не всі елементи конструкції навантажені однаково, як об'єкт дослідження використано зварне з'єднання нелегованої ливарної конструкційної сталі 35Л зі сталлю звичайної якості МСт3. Конструкція зразків вибрана так, щоб у максимально імітувати умови зварювання корпусних деталей верстаного обладнання.

Виплавляння сталі 35Л для виготовлення елементів дослідних зварних конструкцій здійснювали методом переплавляння в індукційній печі високої частоти ІСТ-0016, ємністю 16 кг, футерованої кварцитом на основі сполучного – борної кислоти та плавикового шпату [5]. Як основні шихтові матеріали використовували сталевий лом, вуглецевий бій для навуглецювання та феросплави ФС75 і ФМн70 для доведення сталі за вмістом до структури кремнію та марганцю. Плавлення здійснювали під покривним флюсом із вапна та склобою. Після доведення та перегрівання металу до температури 1560 °С розплав занурювали до ручного ковша, попередньо підігрітого до температури 550–600 °С. Тривалість плавлення в індукційній печі становила близько 30 хв. Температуру розплавлення в печі контролювали оптичним пірометром марки П-25 та платино-родієвою термопарою занурення, захищеною кварцовим наконечником, записуючи показники на двокоординатному потенціометрі моделі

Н307/1. Виготовлення форми для виливки виробляли формуванням по-сирому із застосуванням піщано-глинястої формувальної суміші, вологістю 3–4,5 %.

Отримані зразки піддавали термічному обробленню за технологією нормалізації з наступним високотемпературним відпусканням для зняття внутрішніх напружень [6]. Температура нагрівання під нормалізацію становила 870–890 °С, швидкість нагрівання – 70–80 °С/г. На початку фазових перетворень (720 °С) здійснювали витримку (1,5 г). Тривалість витримки за температури нормалізації – 4 г. Після цих процесів зразки охолоджували на повітрі до температури 200 °С. Відпускання здійснювали за температури 550–600 °С, тривалість витримки становила 2,5 г. Потім зразки та піч охолоджували до температури 200 °С. Дослідження механічних властивостей литих зразків здійснювали на відповідному стандартному обладнанні. Випробування на розтягування здійснювали на розривній машині системи Olsen з найбільшим зусиллям 50 т за швидкості руху активного захвату 1,0 мм/хв. Механічні властивості зразків за динамічних навантажень визначали на маятниковому копрі типу КМ-30. Твердість визначали за методом Брінелля приладом 2109ТБ.

Досліджені зразки відповідають стандартним вимогам як за механічними властивостями, так і за хімічним складом [7] (табл. 1).

Таблиця 1 – Хімічний склад та механічні властивості зразків

№ п/п	Вміст елементів, %							Механічні властивості				
	С	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	МПа		%		НВ
								σ_B	σ_T	δ	ψ	
1	0,34	0,65	0,25	0,15	0,15	0,020	0,017	563	300	22,0	33,1	143

Наступним етапом є зварювання заготовок (прокатної сталі МСт3, товщиною 40 мм, та литої сталі 35Л, товщиною 40 мм) у вузькій розділці на режимі $I_{зв} = 380\text{--}390$ А, $U_d = 28$ В, $V_{зв} = 270\text{--}320$ мм/хв, дріт марки – Св08Г2С, діаметром 3 мм. Пористість, непровари та інші дефекти, які порушують фізичну суцільність з'єднань, не виявлені. Метал щільний.

Отримані зварні зразки було розподілено на дві групи. І група зразків термічному обробленню не піддавалась. За макроструктурою визначено зону термічного впливу, що примикає до сталі 35Л та меншою мірою – до МСт3. Мікроструктура основного металу із МСт3 є ферито-перлітною сумішшю, харак-

терною для доєвтектоїдних низьковуглецевих сталей. Перліт є дрібнопластинчастим, структурно вільним цементитом. Мікроструктура основного металу сталі 35Л характеризується відносно крупним зерном перліту з окремими пластинчастими виділеннями надлишкового фериту. Перехід від мікроструктури основного металу МСт3 до наплавленого є плавним, поступово збільшується кількість перліту. Перехід від наплавленого металу до сталі 35Л також є плавним. Перехідна зона до литого металу зі сталі 35Л характеризується значним навуглецюванням до перлітної структури. Біля зони сплавлення зі сталлю 35Л концентрація вуглецю вище, ніж біля зони сплавлення з МСт3. Це зумовлено

різним вмістом вуглецю в них. Зазначено структурні особливості шва та навколошовної зони зумовлюють неоднорідні механічні властивості. Це визначено за результатами вимірювання твердості вздовж шва з вихо-

дом за наплавлений метал на основний. Вимірювання твердості здійснювали за відбитком піраміди під навантаженням 20 кг (прилад ТП-7Р-1). Твердість вимірювали через кожні 1,5 мм (рис. 1).

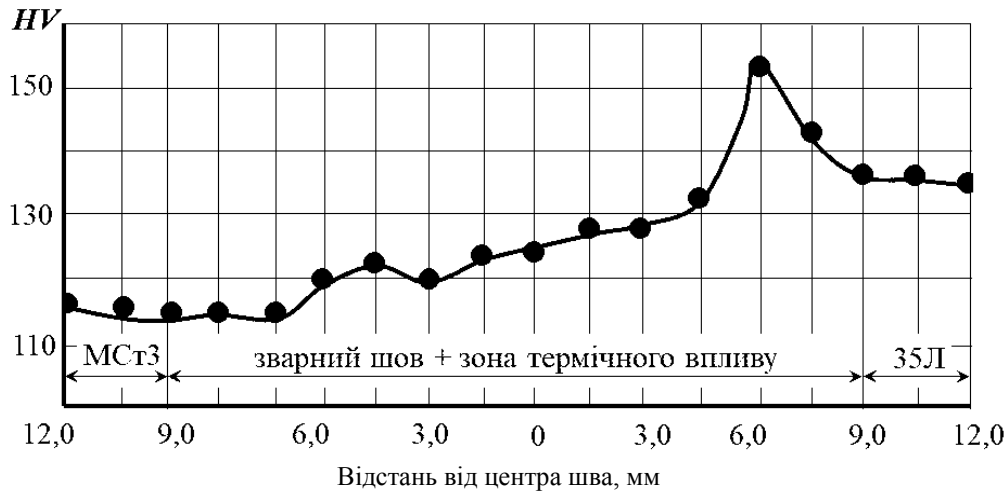


Рис. 1. Розподіл твердості в стиковому шві зварного з'єднання без термооброблення

Твердість сталі МСт3 достатньо стабільна на різних ділянках та становить 122-124 HV. Твердість основного металу 35Л визначається певною нерівномірністю через неоднорідність мікроструктури. Твердість коливається в межах від 130 HV до 143 HV. Найбільш висока твердість, яка становить 210 HV, спостерігається в зоні сплавлення з литою сталлю 35Л. Це відповідає твердості пластинчастого перліту. Всередині наплавленого металу твердість знижується.

ІІ група зразків піддавалась термічному обробленню з нагріванням до температури 850–870 °С зі швидкістю нагрівання 70–

80 °С/г (час витримки – 4 г) з наступним охолодженням разом в печі. Після термічного оброблення змінюється макроструктура: зникає характерна зона термічного впливу, більше окреслюється наплавлений метал. Наплавлений метал – дрібнозерниста ферито-перлітна суміш з дрібними розорієнтованими зернами перліту вздовж меж фериту. Більш висока однорідність структури визначає підвищення однорідності механічних властивостей, що оцінюються за твердістю шва та навколошовних зон у процесі термооброблення (рис. 2).

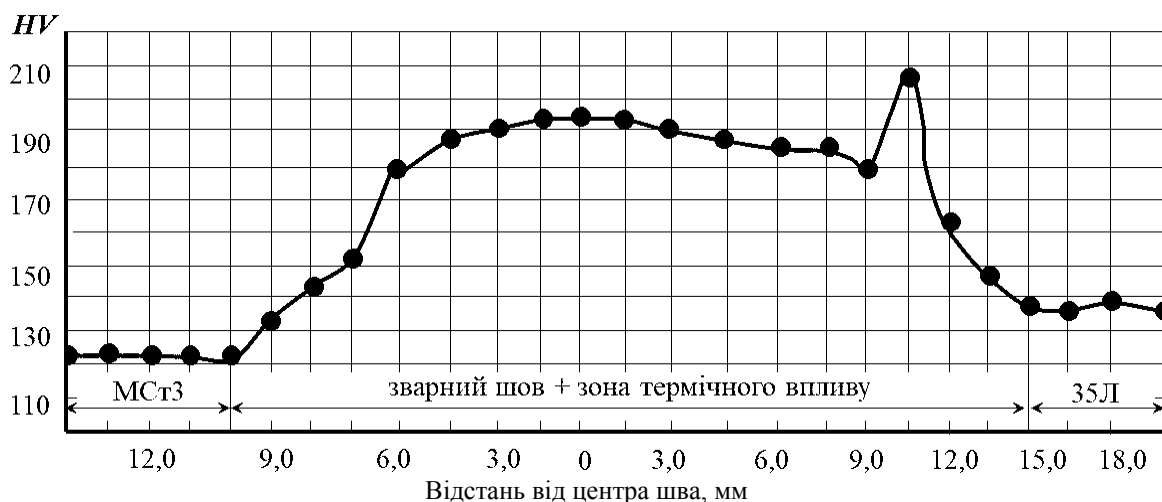


Рис. 2. Розподіл твердості в стиковому шві зварного з'єднання після термооброблення

Твердість МСт3 знижується до 115 HV (до термооброблення 122 HV). Твердість литої сталі 35Л становить найбільш високу твердість – 150 HV, що на 15 % вище, ніж твердість основного металу.

Після цього зі зразків обох груп виготовлялися циліндри, діаметром 12 мм та довжиною 226 мм, для дослідження втомної міцності. Випробування здійснювали на машині МУІ-6000 в умовах повторно-змінних навантажень за чистого вигину зразка. Міцність визначають за остаточним руйнуванням зразків. База випробувань складається 10 млн. циклів.

Середнє арифметичне з 6 випробувань демонструє, що термооброблення після зварювання підвищує втомну міцність на 22 %, як порівняти зі зразками без термооброблення: $\sigma_{-1} = 82$ МПа та $\sigma_{-1} = 64$ МПа. Аналіз зламів зразків під дією циклічного навантаження демонструє, що руйнування відбувається в зоні сплавлення зі сталлю МСт3.

Дослідження довели технічні переваги вибраної технології виготовлення, зварювання та наступного термічного оброблення під час виробництва зварно-литих несних конструкцій для важких токарних верстатів. Ця технологія випробовувалася в заводських умовах ПАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування».

Висновки

У зварних з'єднаннях зі сталевого лиття (35Л) та сталевого прокату (МСт3) метал шва та зони термічного впливу є неоднорідними зонами як за структурою, так і за механічними характеристиками на відміну від основних металів. Після термічного оброблення змінюється будова шва: зменшується структурна неоднорідність, зникають зони суцільного перліту та фериту. Твердість шва та навколовних зон стає більш рівномірною – відмінність не перевищує 10–12 %. За цих умов втомна міцність підвищується в середньому на 22 %.

Література

1. Ковалев В. Д., Пономаренко А. В., Мельник М. С. Исследование эффективности применения сварных несущих конструкций для тяжелых токарных станков повышенной точности. *Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»*. 2010. 53. С. 49–57. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/25816>.

2. Коротков В. А. Комбинированные технологии восстановления чугунных корпусов. *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2017. 4. С.3–6.
3. Berezshnaya O. V., Kassov V. D., Gribkov Y. P. Combined Technology for the Parts Recovery Operating in Stress Factor Conditions. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. Volume 2020. 18 p. Article ID 9684726.
4. Панасюк В. В. Застосування методів механіки руйнування матеріалів для оцінювання міцності зварних з'єднань. *Автоматическая сварка*. 2008. 11 (667). С. 151–156. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/100052>.
5. Виготовлення зразків для натурних випробувань / Васильченко Я. В., Малигін М. О., Приходько О. В., Бережна О. В. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали Міжнародної науково-технічної конф., 21–24 грудня 2020 р.* С. 9.
6. Стальное литье: монография / Федоров Г. Е., Ямшинский М. М., Платонов Е. А., Лютый Р. В. Киев: НТУУ «КПИ», 2013. 896 с. ISBN 976-966-646-130-5.
7. ДСТУ 8781: 2018. Виливки зі сталі. Загальні технічні умови. Київ, 2018. 41 с.

References

1. Kovalev V. D., Ponomarenko A. V., Mel'nik M. S. (2010). Issledovanie effektivnosti primeneniya svarnyh nesushchih konstrukcij dlya tyazhelyh tokarnyh stankov povyshennoj tochnosti [Investigation of the effectiveness of the use of welded supporting structures for heavy lathes of increased accuracy]. *Vestnik Nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «Har'kovskij politekhnicheskij institut»*. 53. 49–57 [in Russian]. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/25816>.
2. Korotkov V. A. (2017). Kombinirovannye tekhnologii vosstanovleniya chugunnyh korpusov [Combined technologies for the restoration of cast iron housings]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya*. 4. 3–6 [in Russian].
3. Berezshnaya O. V., Kassov V. D., Gribkov Y. P. Combined Technology for the Parts Recovery Operating in Stress Factor Conditions. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. Volume 2020. 18 p. Article ID 9684726.
4. Panasyuk V. V. (2008). Zastosuvannya metodiv mekhaniki rujnuvannya materialiv dlya ocinyuvannya micnosti zvarnih z'ednan' [Application of methods of fracture mechanics to assess the strength of welded joints]. *Avtomaticheskaya svarka*. 11 (667). 151–156 [in Ukrainian]. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/100052>.
5. Vigotvollennya zrazkiv dlya naturnih viprobuvan' [Production of samples for field tests] /

- Vasilchenko YA. V., Maligin M. O., Prihod'ko O. V., Berezhna O. V. (2020). *Vazhke mashinobuduvannya. Problemi ta perspektivi rozvitku. Materiali Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferencii*. 9 [in Ukrainian].
6. Stal'noe lit'e. Monografiya [Steel casting. Monograph] / Fedorov G. E., YAmshinskij M. M., Platonov E. A., Lyutyj R. V. (2013). NTUU «KPI». 896. ISBN 976-966-646-130-5 [in Russian].
7. DSTU 8781:2018 (2018). Vilivki zi stali. Zagal'ni tekhnichni umovi [Steel castings. General technical conditions]. Kii'v. 41 [in Ukrainian].

Васильченко Яна Василівна, д.т.н., професор кафедри комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технології, тел. (+38) 062-641-47-82, e-mail: wasilchenko.ua@gmail.com,

Малигін Микола Олегович, аспірант кафедри комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технології, тел. (+38) 099-957-00-76, kolianmalyginr05@gmail.com,

Бережна Олена Валеріївна, д.т.н., доцент кафедри підйомно-транспортних машин, тел. (+38) 098-815-88-65, elena.kassova07@gmail.com,

Приходько Олег Вікторович, ст. викл. кафедри технології і обладнання ливарного виробництва, тел. (+38) 066-748-46-12, olegvictorovi4@ukr.net, Донбаська державна машинобудівна академія, б-р Машинобудівників 34, Краматорськ, 84313, Україна.

Technological features of the production of welded beds from prefabricated base parts

Abstract. *The work is devoted to the problem of fatigue strength of welded-cast joints as applied to the operating conditions of body parts of machines. Such operating conditions are characterized by non-uniformity of intensity and concentration of the load on parts and assemblies during the operation of the equipment. This heterogeneity of the load actualizes production of precisely welded-cast base parts for metalworking equipment beds. This is of considerable technological and economic interest. The aim of the work is to study the strength of welded-cast bearing structures in relation to the work of beds of heavy*

lathes. Unalloyed medium-carbon structural steel 35L and steel of ordinary quality MCT3 in the form of rolled products were used as the main materials for research. The research methods are presented. The study of the structure and properties of the welded joint made it possible to assess the technical feasibility of using the studied metals in the manufacture of welded-cast bearing structures. It has been established that welding of steel castings with rolled steel causes significant structural and mechanical heterogeneity. The influence of processing technology on the nature of formation of the structure of welded-cast joints is presented. The influence of heat treatment on the value of the hardness of the welded seam and the heat-affected zone was investigated. The study of the fatigue resistance of welded-cast specimens was carried out in relation to the operating conditions of joints undergoing vibration loads at normal temperatures, which can be classified as fatigue with a symmetric load cycle. It was found that the use of heat treatment of welded-cast specimens significantly reduces the mechanical heterogeneity of the joint along the seam and the heat-affected zone. Based on the results of studying mechanical characteristics, the choice of technology for the production of welded-cast joints is justified.

Key words: *welded-cast structures, heat treatment, welding, structure, hardness, fatigue strength.*

Vasilchenko Yana, ScD., Professor Department of Computerized Mechatronic Systems, Tools and Technology, tel.: (+38) 062-641-47-82, e-mail: wasilchenko.ua@gmail.com,

Maluhin Mykola, postgraduate Department of Computerized Mechatronic Systems, Tools and Technology, tel.: (+38) 099-957-00-76, e-mail: kolianmalyginr05@gmail.com,

Berezhna Olena, ScD., Docent Department of Hoisting-and-Transport Machines, tel.: +38 098-815-88-65, e-mail: elena.kassova07@gmail.com,

Prihodko Oleg, Senior Lecturer Department of Technology and Equipment of Foundry Production, tel.: (+38) 066-748-46-12, e-mail: olegvictorovi4@ukr.net, Donbas State Engineering Academy, Akademicheskaya Str., 72, Kramatorsk, 84300, Ukraine.