

УДК 621.17

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.91.0.100

## ВЛАСТИВОСТІ ТА СТРУКТУРА ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ В НАПЛАВКАХ ІЗ 12 % ХРОМИСТИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Погрібний М.А.<sup>1</sup>, Реброва О.М.<sup>1</sup>, Федоренко Г.А.<sup>1</sup>, Реброва А.О.<sup>1</sup>,  
Погребна Е.К.<sup>2</sup>, Гололобова О.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

<sup>2</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки

**Анонція.** У статті наведено дослідження впливу технології термічного оброблення на структуру і властивості ЗТВ у деталях машин, які підлягали наплавленню в процесі відновлювального ремонту. Розглянута проблематика знеміцнення наплавки високохромистих сталей унаслідок зміни структури та властивостей ділянок у зоні наплавлення.

**Ключові слова:** хромисті сталі, наплавка, зона термічного впливу, термічне оброблення.

### Вступ

Для відновлюваного ремонту зношених в процесі експлуатації деталей машин використовуються технології зварювання або наплавлення, які можуть суттєво впливати на конструкційну міцність виробів.

### Аналіз публікацій

Відомо [1, 2], що під дією термічного циклу наплавлення (зварювання) у розташованих поблизу межі сплавлення ділянках металу виробів (особливо з високолегованих сталей, наприклад, 12 % хромистих) утворюється зона термічного впливу (ЗТВ) з полярно протилежними властивостями. Так, на біляшовній ділянці, де температура нагрівання найбільша, відбувається гартування, унаслідок чого метал отримує підвищені твердість і крихкість; на ділянці, де під дією температурного впливу протікають процеси відпускання, метал знеміцнюється. У багатьох випадках саме ділянка знеміцнення є відповідальною за конструктивну міцність зварених (наплавлених) виробів, особливо в разі необхідності використання для таких виробів подальшого термічного оброблення [3–6].

### Мета і постановка завдання

Метою цього дослідження є встановлення впливу режимів термічного оброблення на структуру та властивості ділянки знеміцнення в ЗТВ наплавки із високохромистої сталі 15X11МФ.

### Методика дослідження

Досліджувались зразки зі сталі 15X11МФ після одно- та багатошарового наплавлення в середовищі газу аргону, як безпосередньо

після наплавлення, так і після наступного відпускання за умови різних температур. Матеріалами для наплавлення використовували сталі того самого структурного класу, що й досліджувані зразки, а саме сталі 20X13, 30X13, а також електроди зі сталі 15X11МФ. Властивості та розміри ЗТВ визначали построкковими замірами мікротвердості на макрошліфах. Водночас для характеристики виявленого знеміцнення використовувались такі критерії: мінімальна твердість на ділянці знеміцнення, її протяжність на рівні твердості основного металу і ступінь знеміцнення. Проводились механічні випробування на розтяг наплавлених зразків з поперечним розташуванням ЗТВ. Вихідні властивості сталі 15X11МФ регулювалися зміною режимів гартування перед наплавленням.

### Властивості та структура наплавки із хромистих сталей

Отримані після одношарового наплавлення результати свідчать (рис. 1), що зі збільшенням температури відпускання відбувається подальше знеміцнення ЗТВ. У цьому випадку, незалежно від вихідної міцності металу, твердість ділянки знеміцнення знижується вже за умови нагрівання до температур, які не перевищують температуру відпускання сталі перед наплавленням (680 °С). Оскільки тепловий вплив у режимі високого відпускання в разі нагрівання до 680 °С не змінив твердості основного металу (див. рис. 1), можна вважати, що причиною інтенсифікації знеміцнення є зняття зварних напружень, що полегшило процеси дифузії та коагуляції карбідних часток.

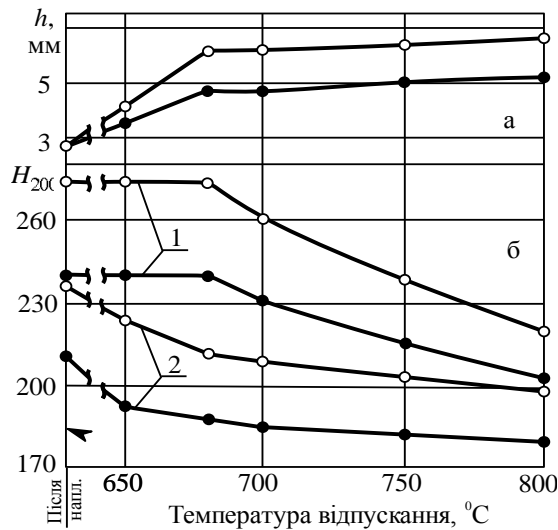


Рис. 1. Залежність розмірів та властивостей зони знеміцнення в сталі 15X11MF від температури відпускання: а – ширини; б – мікротвердості: 1 – мікротвердість основного металу, 2 – мікротвердість знеміцненої ділянки

Світлі значки – вихідна висока міцність сталі (температура гартування 1050 °С, температура відпускання 680 °С). Темні значки – вихідна низька міцність сталі (температура гартування 950 °С, температура відпускання 680 °С).

Із зростанням температури нагрівання ступінь коагуляції карбідів, як показали електронно-мікроскопічні дослідження, збільшується (рис. 2), унаслідок чого твердість металу зони високого відпускання продовжує монотонно знижуватись, залишаючись за умови всіх температур нижчою за твердість основного металу.

Характерно, що після відпускання, як безпосередньо, і після наплавлення, мінімальне значення твердості в зоні знеміцнення

для більш міцної сталі залишається на більш високому рівні. Подібне явище можна пояснити неоднаковими умовами формування структури та властивостей сталі в процесі попереднього термічного оброблення. Чим вища температура нагрівання під гартування, тим більш повно пройшло розчинення карбідів в аустеніті й вищий ступінь його легуваності. Більш високе насичення аустеніту легуючими елементами, у свою чергу, ускладнює процеси, які відбуваються в процесі відпускання, забезпечуючи тим самим підвищену міцність сталі (як основного металу, так і зони знеміцнення) за умови всіх наступних нагрівань до температур відпускання.

Ширина знеміцненої ділянки, яка у вихідному (після наплавлення) стані не залежить від вихідних властивостей металу, під дією наступного відпускання стрімко збільшується, зокрема більш інтенсивно в металі з підвищеною міцністю (див. рис. 1). На основі зіставлення даних металографічного аналізу та вимірів твердості різноманітних ділянок ЗТВ, було встановлено, що розширення зони знеміцнення відбувається здебільшого за рахунок ділянки неповного загартування, де в разі повторного нагрівання під відпускання формується груба ферито-карбідна структура, яка також сприяє зниженню твердості та міцності.

Наступними механічними випробуваннями встановлено, що в умовах дії робочих напружень розтягнення, коли вся відповідальність за працездатність наплавлених елементів конструкцій лягає на ділянку знеміцнення, показники міцності наплавків після відпускання знижуються (табл. 1) і навіть, після

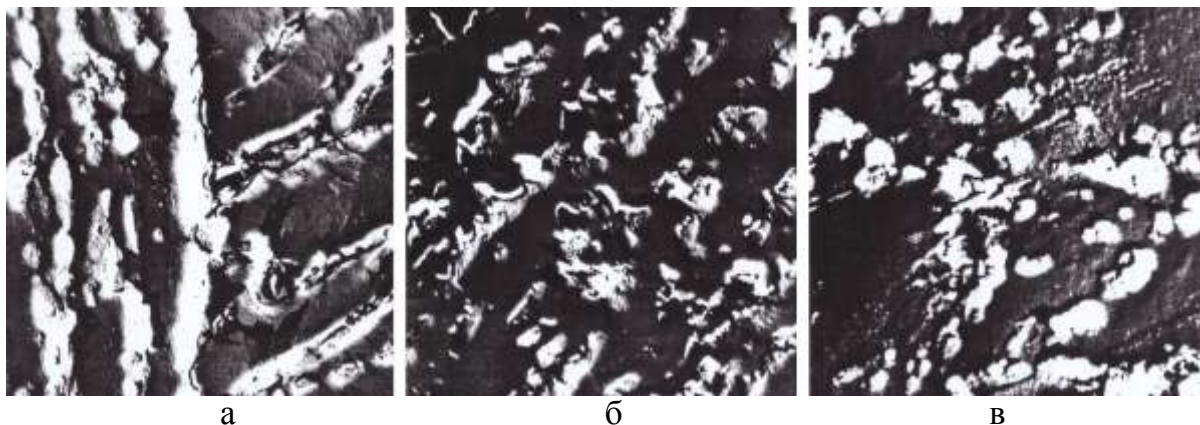


Рис. 2. Мікроструктура зони знеміцнення після наплавлення (б), наступного відпускання за

умови температури 680 °С, 2 год (в) та основний метал за межами ЗТВ (а) (x10000)  
Таблиця 1 – Вплив наплавлення та подальшого відпускання на властивості сталі 15X11МФ

Механічні властивості зразків в умовах діючих робочих напружень розтягнення					
Стан зразків		$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\nu_{\text{в}}, \%$	$\delta_{\text{в}}, \%$
Сталь 15X11МФ до наплавлення		860	740	50	14
Після наплавлення сталлю 15X11МФ	До термічного оброблення	810	680	40	7,0
	Після відпускання ( $t=645-660^\circ\text{C}$ , $\tau=2$ год)*	740-760	620-640	45-47	11-12
Після наплавлення сталлю 20X13	До термічного оброблення	800	680	41	6,5
	Після відпускання ( $t=660-680^\circ\text{C}$ , $\tau=2$ год)*	730-750	620-640	47-49	11-12
Після наплавлення сталлю 30X13	До термічного оброблення	790	690	43	5,5
	Після відпускання ( $t=650-680^\circ\text{C}$ , $\tau=2$ год)*	730-750	640-660	47-49	12-13

\* – на оптимальному режимі

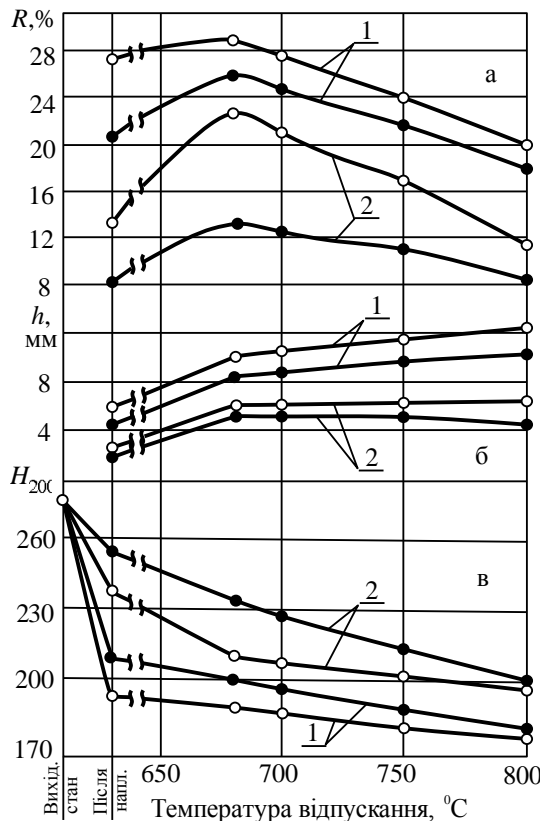


Рис. 3. Вплив відпускання на властивості та розміри зони знеміцнення в сталі 15X11МФ з багатошаровим наплавленням: а – ступінь знеміцнення, б – ширина, в – мікротвердість (1 – п'ятишарове наплавлення, 2 – одношарове наплавлення, світлі значки – з попереднім прогрівом, темні значки – без попереднього прогріву)

відпускання на оптимальному режимі (температура нагрівання 645–680 °С, витримка 2 год) виявляються на 8–10 % нижчими, ніж міцність з'єднань у вихідному (до відпускання) стані, а також значно нижчі за рівень властивостей вимог ТУ. У цьому разі після відпускання різниця між величиною тимчасового опору для напавленої композиції та

основного металу становить близько 110–130 МПа (див. табл. 1).

Дослідженнями встановлено, що особливо несприятливий вплив надає відпускання на стан ЗТВ у наплавках, які отримані шляхом багатошарового наплавлення. Отримані дані свідчать (рис. 3), що зі збільшенням кількості проходів (напавлених шарів) знеміцнення в зоні високого відпускання сталі 15X11МФ у процесі наступного нагрівання до температур відпускання стрімко збільшується. Після нагрівання вже до температури 680 °С у зразках з п'ятишаровою напавкою ступінь знеміцнення зростає на 8–13 %, а ширина знеміцненої ділянки збільшується на 3–4 мм порівняно з відпущеною за умови цієї ж температури одношаровою напавкою.

Після відпускання за температури 680 °С мінімальна твердість ділянок знеміцнення в зразках з п'ятишаровою напавкою знижується до 190–200  $H_{200}$ , тобто до рівня, який у зразках із напавкою в один шар досягається лише за умови 800 °С.

Судячи з отриманих даних (див. рис. 3), існує тісний зв'язок між величиною параметрів знеміцнення до і після термічного оброблення. Чим більш різко виражено знеміцнення безпосередньо після наплавлення, тим у більшому ступені проявляється воно під час наступного відпускання.

### Висновки

Термічне оброблення напавок із 12 % хромистих сталей (15X11МФ, 20X13, 30X13) суттєво впливає на структуру та властивості зони термічного впливу. Високе відпускання таких напавок сприяє збільшенню знеміцнення в ЗТВ, і, як наслідок, зменшує показники конструкційної міцності напавлених виробів і, певна річ, зварних з'єднань із зазначених сталей.

## Література

1. Каховский Н.И. Сварка высоколегированных сталей. – Киев: Техника. – 1975. – 373 с.
2. Петров В.Н. Сварка жаропрочных нержавеющей сталей. – Москва – Ленинград: Машгиз. – 1983. – 248 с.
3. Земзин В.Н., Шрон Р.З. Термическая обработка и свойства сварных соединений. – Ленинград: Машиностроение. – 1987. – 367 с.
4. Сфіменко М.Г., Радзілова Н.О. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань. – Харків, 2003. – 488 с.
5. Погребной Н.А. Перспективы применения скоростного нагрева при термической обработке конструкционных материалов // Новые решения в современных технологиях. Вестник ХГПУ. – 1999. – Вып. 45. – С. 45–49.
6. Погребной Н.А. Применение скоростного нагрева для повышения конструкционной прочности сварных соединений и наплавов. – Москва: Черные металлы, 2010. – №3. – С. 20–24.

## References

1. Kahovskiy N.I. Svarka vyisokolegirovannykh staley [Welding of high alloy steels]. – Kyiv: Tehnika. – 1975. – 373 s.
2. Petrov V.N. Svarka zharoprochnykh nerzhavyuschih staley [Welding of heat resistant stainless steels]. – Moskva – Leningrad: Mashgiz. – 1983. – 248 s.
3. Zemzin V.N., Shron R.Z. Termicheskaya obrabotka i svoystva svarnykh soedineniy [Heat treatment and properties of welded joints]. – Leningrad: Mashinostroenie. – 1987. – 367 s.
4. Efimenko M.G., Radziilova N.O. Metaloznavstvo i termichna obrobka zvarnih z'ednan [Metallurgy and heat treatment of welded joints]. – Harkiv. – 2003. – 488 s.
5. Pogrebnoy N.A. Perspektivyi primeneniya skorostnogo nagreva pri termicheskoy obrabotke konstruktivnykh materialov [Perspectives for the use of high-speed heating in heat treatment of structural materials]. – Novyye resheniya v sovremennykh tehnologiyah. Vestnik HGPU. – 1999. – Vyip. 45. – S. 45–49.
6. Pogrebnoy N.A. Primenenie skorostnogo nagreva dlya povysheniya konstruktivnoy prochnosti svarnykh soedineniy i naplavok [Application of high-speed heating to increase the structural strength of welded joints and surfacing]. – Moskva: Chernyye metalli. – 2010. – №3. – S. 20–24.

**Погрібний Микола Андрійович**, к.т.н., професор кафедри матеріалознавства, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: pohrebnoy1950@gmail.com, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.  
**Реброва Олена Михайлівна**, к.т.н., доцент кафе-

дри матеріалознавства, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: rebrovaem0512@gmail.com, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.  
**Федоренко Ганна Анатоліївна**, інженер I категорії кафедри матеріалознавства, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: ann161169@gmail.com, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.  
**Реброва Анастасія Олексіївна**, студентка групи КН-619, кафедра системного аналізу інформаційно-аналітичних технологій, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: rebrova0512@gmail.com, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.  
**Погребна Еліна Костянтинівна**, студентка групи ПЗІІ 19-2, кафедра програмної інженерії, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: elina.pogrebna@nure.ua, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61000, Україна.  
**Гололобова Олеся Миколаївна**, асистент кафедри менеджменту та оподаткування, тел.: (057) 707-61-96, e-mail: olesya.gololobova@gmail.com, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.

### Properties and structure of the zone of thermal impact in the surfaces made of 12% of chrome steel after heat treatment

**Abstract.** The article presents a study of the technology of heat treatment of machine parts, which are subject to welding in the process of refurbishment. **Problem.** During surfacing of high-chromium steels, a process of decreasing strength occurs due to the changes in the structure and properties of the sections of the heat-affected zone. The identification of the behavior features of the softening zone under tempering conditions was investigated on specimens of high-chromium steel 15X11MF after single- and multi-layer surfacing with various steels and subsequent tempering. **The goal of this work is to identify the features of the behavior of the softening zone under tempering conditions and to determine the indicators characterizing the softening (minimum stiffness in the softening zone, its width and the degree of softening), from the tempering temperature at different initial strength of the deposited metal.** **Methodology.** Specimens of steel 15X11MF were subjected to surfacing with different chromium steels, and then tempering was carried out at 680–800°C for 2 hours. **Results.** It was found that heat treatment of high-chromium steels surfacing in the tempering mode does not eliminate, but, on the contrary, promotes an increase in softening in the heat-affected zone and reduces the structural strength of the parts. The best strength indicators are obtained by tempering at 645-

680°C and holding for 2 hours. **Originality.** The results of the study make it possible to determine the conditions for heat treatment of the steel under study, which makes it possible to obtain the highest strength of parts restored by surfacing. **Practical value.** The restoration of parts by surfacing inevitably leads to a decrease in strength in the heat-affected zone.

**Key words:** zone of thermal influence, surfacing, chromium steels, heat treatment.

**Pohribnyi Mykola Andriiovych**, Ph. D., Professor of Materials Science Department, tel.: (057) 707-64-35, e-mail: pohrebnoy1950@gmail.com, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Rebrova Olena Mykhailivna**, Ph. D., Associate Professor of Materials Science Department, tel.: (057) 707-64-35, e-mail: rebrovaem0512@gmail.com, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Fedorenko Hanna Anatoliivna**, engineer of 1 category of Materials Science Department, tel.: (057) 707-64-35, e-mail: ann161169@gmail.com, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Rebrova Anastasiia Oleksiivna**, student of KN-619 group, department of system analysis of information-analytical technologies, tel.: (057) 707-64-35, e-mail: rebrova0512@gmail.com, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Pohrebna Elina Kostiantynivna**, student of group PZPI 19-2, Department of Software Engineering, tel.: (057) 707-64-35, e-mail: elina.pogrebna@nure.ua, Kharkiv National University of Radio Electronics, 14 Nauki Ave., Kharkiv, 61000, Ukraine.

**Hololobova Olesia Mykolaivna**, Assistant of the Department of Management and Taxation, tel.: (057) 707-61-96, e-mail: olesya.gololobova@gmail.com, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

### Свойства и структура зоны термического влияния в наплавках из 12% хромистых сталей после термической обработки

**Аннотация.** В статье приведено исследование воздействия технологии термической обработки на структуру и свойства зоны термического влияния в деталях машин, которые подлежат наплавлению в процессе восстановительного ремонта. Во время наплавки высокохромистых сталей возникает процесс снижения прочности вследствие изменения структуры и свойств участков зоны термического влияния. Выявление особенностей поведения зоны разупрочнения в условиях отпуска исследовалась на образцах из высокохромистой стали 15Х11МФ после одно- и многослойной наплавки

различными сталями и последующего отпуска. Целью этой работы является выявление особенностей поведения ЗТВ в условиях отпуска и определение показателей, характеризующих разупрочнение (минимальная твердость в ЗТВ, ширина участка разупрочнения и степень разупрочнения), от температуры отпуска при различной исходной прочности наплавленного металла. Образцы из стали 15Х11МФ подвергали наплавке разными хромистыми сталями, а затем проводили отпуск при температурах 645–800°C в течение 2 часов. Установлено, что термическая обработка наплавки из высокохромистых сталей в режиме отпуска не устраняет, а наоборот, способствует увеличению разупрочнения в зоне термического влияния и уменьшает показатели конструкционной прочности наплавленных деталей.

**Ключевые слова:** хромистые стали, наплавка, зона термического влияния, термическая обработка.

**Погребной Николай Андреевич**, к.т.н., профессор кафедры материаловедения, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: pohrebnoy1950@gmail.com,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2, ул. Кирпичёва, г. Харьков, 61002, Украина.

**Реброва Елена Михайловна**, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: rebrovaem0512@gmail.com,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2, ул. Кирпичёва, г. Харьков, 61002, Украина.

**Федоренко Анна Анатольевна**, инженер 1 категории кафедры материаловедения, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: ann161169@gmail.com,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2, ул. Кирпичёва, г. Харьков, 61002, Украина.

**Реброва Анастасия Алексеевна**, студентка группы KN-619, кафедра системного анализа информационно-аналитических технологий, тел.: (057) 707-64-35, e-mail: rebrova0512@gmail.com,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2, ул. Кирпичёва, г. Харьков, 61002, Украина.

**Погребная Элина Константиновна**, студентка группы ПЗПИ 19-2, кафедра программной инженерии, тел.: (057) 707-64-35,

e-mail: elina.pogrebna@nure.ua, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, просп. Науки, 14, г. Харьков, 61000, Украина.

**Гололобова Олеся Николаевна**, ассистент кафедры менеджмента и налогообложения, тел.: (057) 707-61-96,

e-mail: olesya.gololobova@gmail.com, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2, ул. Кирпичёва, г. Харьков, 61002, Украина.