

Зміцнення інструменту для холодної роликової прокатки корозійностійких труб

Столбовий В. О., доктор технічних наук, начальник лабораторії,
stolbovoy@kipt.kharkov.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7734-0642>

Сребрянський Г. О.* , кандидат технічних наук, старший викладач вищої
категорії, amorphus@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3222-9435>

Кривчик Л. С.* , аспірант, lcrivchik@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7769-3808>

Хохлова Т. С.** , професор, кандидат технічних наук, професор кафедри,
kh_gipo@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6683-4572>

Пінчук В. Л.* , викладач-методист вищої категорії, v.l.pinchuk@nmt.org.ua, ORCID:
<https://orcid.org/0000-0001-8257-9252>

Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства і технологій Національного
центру Харківського фізико-технічного інституту НАН України, Харків

*Нікопольський фаховий коледж Національної металургійної Академії
України, Нікополь

**Національна металургійна Академія України, Дніпро

Робота присвячена проблемі – підвищенню зносостійкості трубного інструменту для холодної роликової прокатки корозійностійких труб, що обумовлено його значною вартістю і важкими умовами роботи. Запропоновано удосконалення технології термічної обробки прокатного інструменту для виробництва корозійностійких труб (оправок, роликів, опорних планок) із сталей 4Х5МФ1С і 60С2ХФА. Замість звичайної технології – гартування та відпуск, проводили гартування, відпуск та наступне іонне азотуванням в плазмі двоступеневого вакуумно-дугового розряду в модифікованій установці «Булат-6». Досліджено мікроструктуру зразків сталей. Проведено порівняння мікротвердості зразків після традиційної обробки і запропонованої. Зносостійкість інструменту (оправки зі сталі 60С2ХФА) для холодної роликової прокатки особливо тонкостінних корозійностійких труб досліджувалась безпосередньо під час промислових випробувань в заводських умовах. Дослідження мікроструктури на РЕМ азотованого шару після іонно-плазмового азотування виявили дрібнодисперсну дуже міцну ε-фазу. Завдяки її наявності в поверхневому шарі твердість азотованих деталей підвищується за рахунок утворення стійких у процесі нагрівання карбідів, нітридів, карбонітридів. Сталь набуває високої твердості на поверхні, зносостійкості та корозійної стійкості. Випробування оправок в заводських умовах, що додатково піддавали іонному азотуванню, показало збільшення їх стійкості на 25-30 %. Також знижені витрати по переробці виготовлення труб і покращена якість внутрішньої

поверхні труб (відсутність плівок, порізів та інших дефектів корозійностійких труб). Заміна сталі 60С2ХФА на вториннотвердіючу сталь 4Х5МФ1С для виготовлення роликів і опорних планок крім покращення якості їх внутрішньої поверхні підвищила стійкість інструменту в 2,7-3,0 рази.

Ключові слова: *ролики, опорні планки, оправки, холодна прокатка, термічна обробка, іонне азотування.*

Тонкостінні труби підвищеної якості діаметром від 4 мм до 120 мм із корозійностійких сталей широко використовуються в різних галузях промисловості (авіації, ракетобудуванні, атомній енергетиці, суднобудуванні тощо). Їх виготовляють пресуванням на трубопрофільних пресах, але найчастіше, станах холодної роликової прокатки труб (ХПТР) де використовується і витрачається велика кількість трубного інструменту (рис. 1 а) (ролики, опорні планки і циліндрична оправка), вартість якого досягає 25 % від вартості переробки всього трубопрокатного цеху [1]. Від цього підвищується собівартість продукції і знижується її конкурентоздатність. Процес ХПТР відрізняється від холодної пільгерної прокатки труб використанням роликів з рівчаком постійного радіусу [2], профіль якого дуга Д1 (рис. 1 б) є зовнішнім діаметром труби. При прокатці ролики котяться по опорній поверхні планок (рис. 1 в), а діаметр оправки (рис. 1 г), що може бути циліндричною або із малою конусністю, відповідає внутрішньому діаметру труби (або дещо меншому за нього) [3, 4]. При нормальному процесі пластичної деформації на станах ХПТР ролик і поверхня планки деформуються внаслідок значних питомих тисків (до декількох сотень тон) на поверхні контакту цапф ролика з опорною планкою, знакозмінних навантажень через переміщення миттєвого осередку деформації вздовж осі прокатки та динамічних ударів [5]. Це приводить до викришування металу на робочих поверхнях і свідчить про недостатню контактну зносостійкість та твердість. В той же час необхідні точні розміри, високий клас чистоти поверхні, зносостійкість, достатня твердість в поєднанні з пружністю і в'язкістю інструменту [2]. Трубний інструмент (оправки, ролики і опорні планки) найчастіше виготовляють зі сталей 60С2ХФА або 4Х5МФ1С із твердістю поверхні 50-56 HRC після термічної обробки [5], яка включає гартування і відпуск. Властивості трубного інструменту обумовлюють продуктивність станів і якість труб, що впливає і на їх собівартість за рахунок кількості замінених елементів, які вийшли за номінальні розміри внаслідок зносу. Значні витрати трубного інструменту (до 25 % від вартості всієї продукції) свідчать про необхідність створення прокатного інструменту, зносостійкість поверхні якого була б вище за існуючу, що дозволило б скоротити розхід інструменту і підвищити якість труб.

Підвищення зносостійкості поверхні металевих виробів можливо декількома методами: заміною марки сталі; корегуванням режимів термічної обробки; додатковою хіміко-термічною обробкою (ХТО); розробкою ресурсозберігаючих технологій ХТО на основі застосування вакууму, киплячого шару, циклічної обробки в замкнутому просторі, джерел з

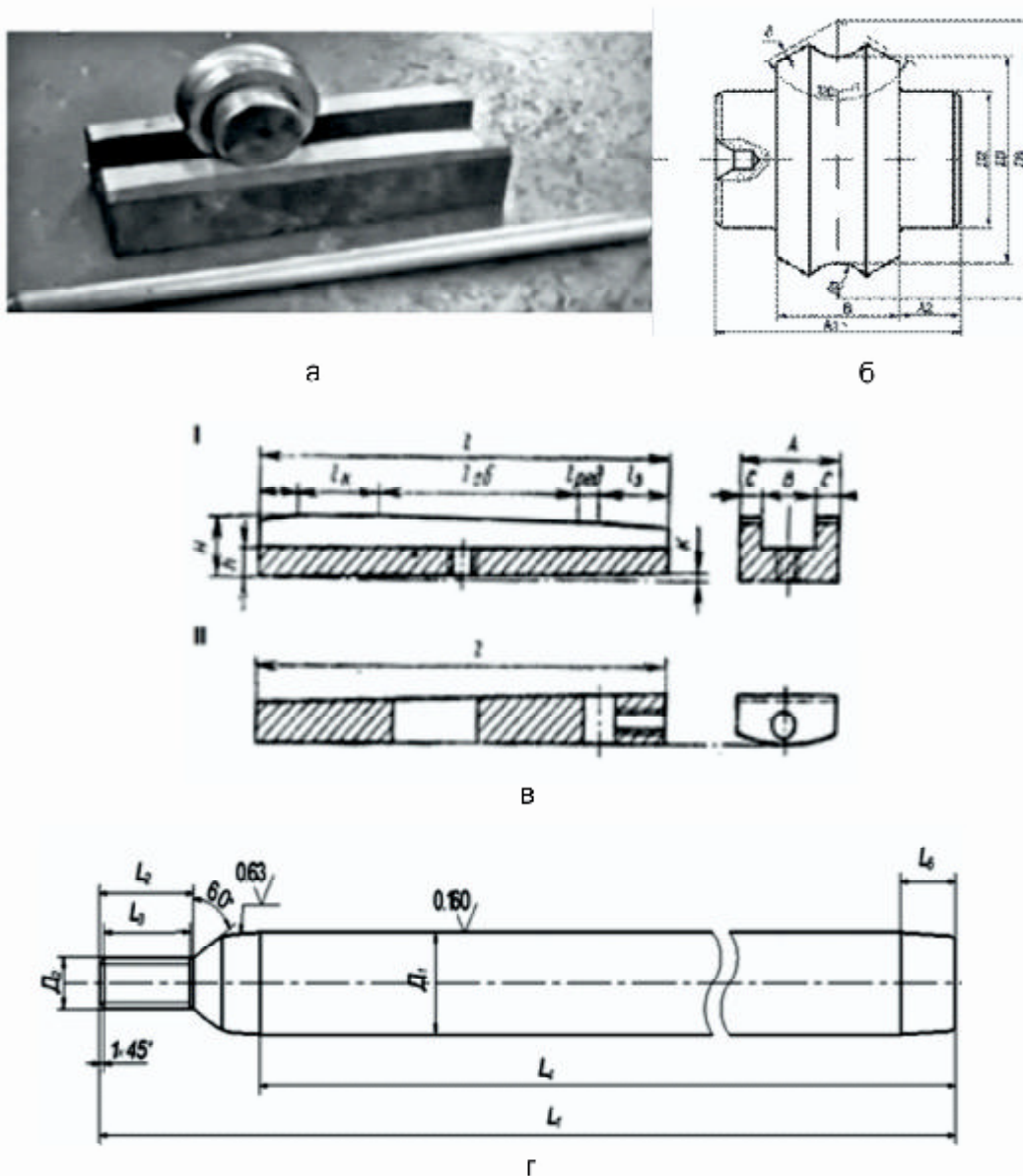


Рис. 1. Зовнішній вигляд інструмента стану ХПТР (а) та схеми ролика стану ХПТР (б), опорної планки (в, I), регулюючого клина (в, II) і оправки стану (г).

Fig. 1. The appearance of the tool of the ХПТР machine (а) and the scheme of the ХПТР machine roller (б), the support bar (в, I), the regulating wedge (в, II) and the mandrel of the machine (г).

високою концентрацією енергії (тліючого, дугового розрядів, електронного та лазерного нагріву, СВЧ-технології); розробкою нових технологій зносостійких і корозійностійких покриттів, зокрема осадженням з газової фази [6, 7]. Для підвищення зносостійкості трубного інструменту для вказаного сортамента труб деякі технології, наприклад, електронний та лазерний нагрів поверхні малопродуктивні, і їх застосування доцільне для штучних

Технічна інформація

відповідальних виробів. Інші методи просто недоступні, виходячи із локації підприємства. Тому мета даної роботи – підвищити зносостійкість основного трубного інструменту для станів ХПТР для виробництва корозійностійких труб найбільш простим і доступним методом. В нашому випадку таким методом було обрано іонне азотування виробів після їх гартування і відпуску [7, 8].

Дослідження проводили на зразках 20×20×5 мм та інструменті для холодної роликової прокатки особливо тонкостінних корозійностійких труб (оправки, ролики і опорні планки) із сталей 60С2ХФА (ДСТУ 8429:2015) і 4Х5МФ1С (ДСТУ 3953-2000), хімічний склад яких наведено в таблиці.

Хімічний склад досліджуваних сталей, % по масі

Chemical composition of the studied steels, % by mass

Сталь	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
							не більше			
60С2ХФА	0,56-0,64	1,4-1,8	0,4-0,7	0,9-1,2	0,1-0,2	-	0,25	0,20	0,025	0,025
4Х5МФ1С	0,32-0,40	0,9-1,2	0,20-0,50	4,5-5,5	0,3-0,5	1,2-1,5	0,35	0,30	0,30	0,30

Після зміцнюючої термічної обробки (рис. 2) зразки і інструмент піддавались іонному азотуванню в плазмі двоступеневого вакуумно-дугового розряду (ДВДР) в модифікованій установці «Булат-6» в лабораторії плазмотехнологій Інституту фізики твердого тіла ННЦ ХФТІ (м. Харків). Металографічні дослідження на шліфах після травлення 4% спиртовим розчином азотної кислоти. Для визначення фазового складу азотованого шару і його товщини використовували методи кольорового і електролітичного травлення в розчині їдкого натру.

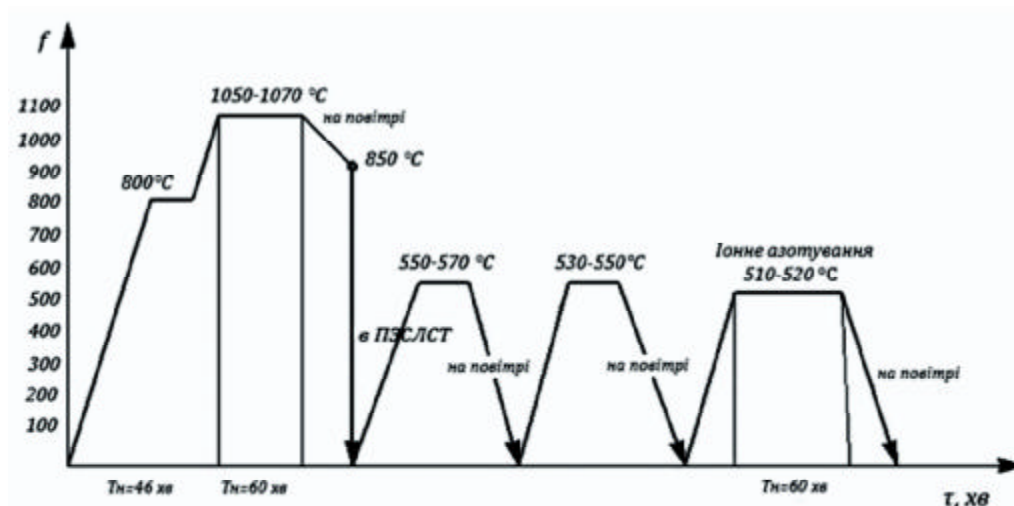


Рис. 2. Графік термічної обробки роликів і опорних планок.

Fig. 2. Schedule of heat treatment of rollers and support bars.

Для визначення ефективності нової технології зміцнення трубного інструменту станів ХПТР проводились промислові випробування оправок зі сталі 60С2ХФА для холодної прокатки тонкостінних нержавіючих труб на підприємстві ТОВ ВО «ОСКАР» (м. Нікополь).

Дослідження сталей 4Х5МФ1С і 60С2ХФА після іонно-плазмового азотування показали (рис. 3, 4) наявність в структурі азотованого шару дисперсної ϵ -фази (рис. 4) і твердість на рівні HV 790-820. Це на HV 160-180 вище порівняно із звичайним газовим азотуванням [9].

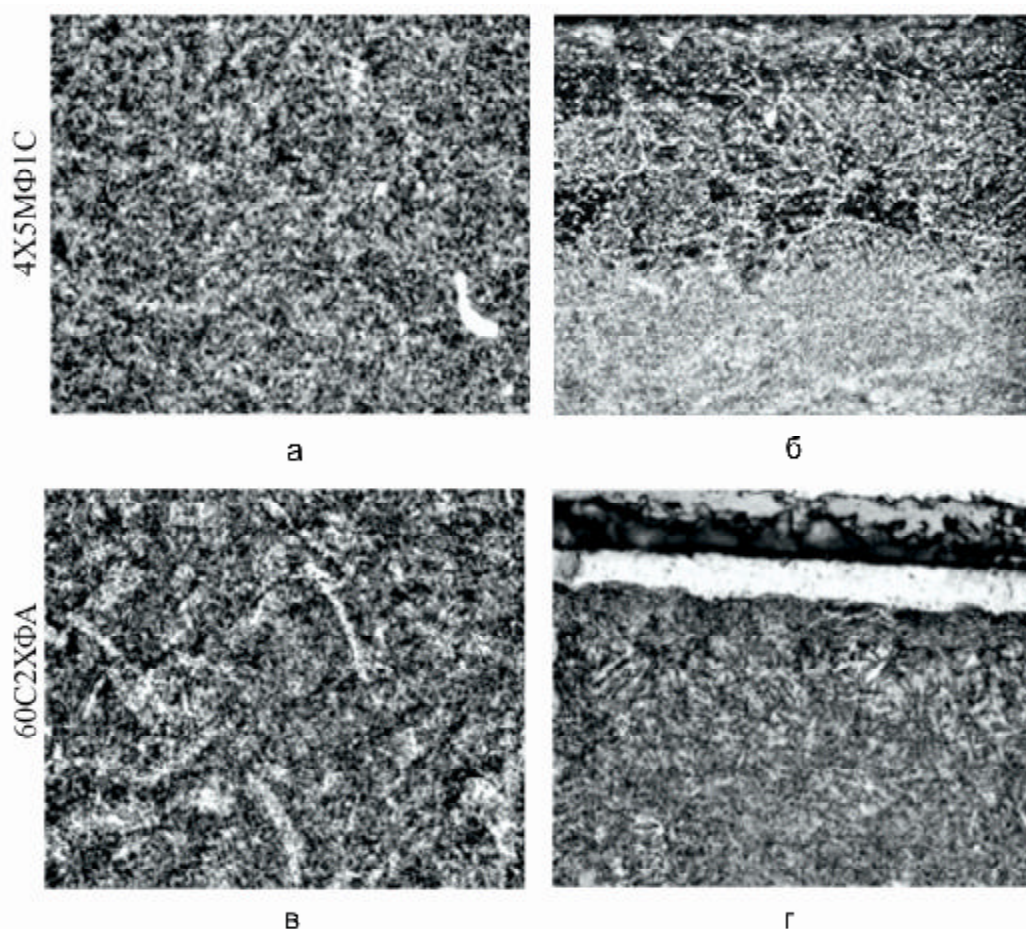


Рис. 3. Мікроструктура зразків сталі 4Х5МФ1С та 60С2ХФА після іонного азотування: а, в – центр, б, г – поверхня. $\times 800$.

Fig. 3. Microstructure of 4X5MF1C and 60C2XFA steel samples after ion nitriding: а, в – center, б, г – surface. $\times 800$.

Твердість поверхні по глибині зростає в зразках обох досліджених сталей, далі вона повільно знижується до значень HV 580-598 на глибині 70 мм, що відповідає традиційній технології термозміцнення прокатного інструменту (оправок, роликів, опорних планок станів ХПТР) зі сталей 4Х5МФ1С і 60С2ХФА (гартування з наступним відпуском).

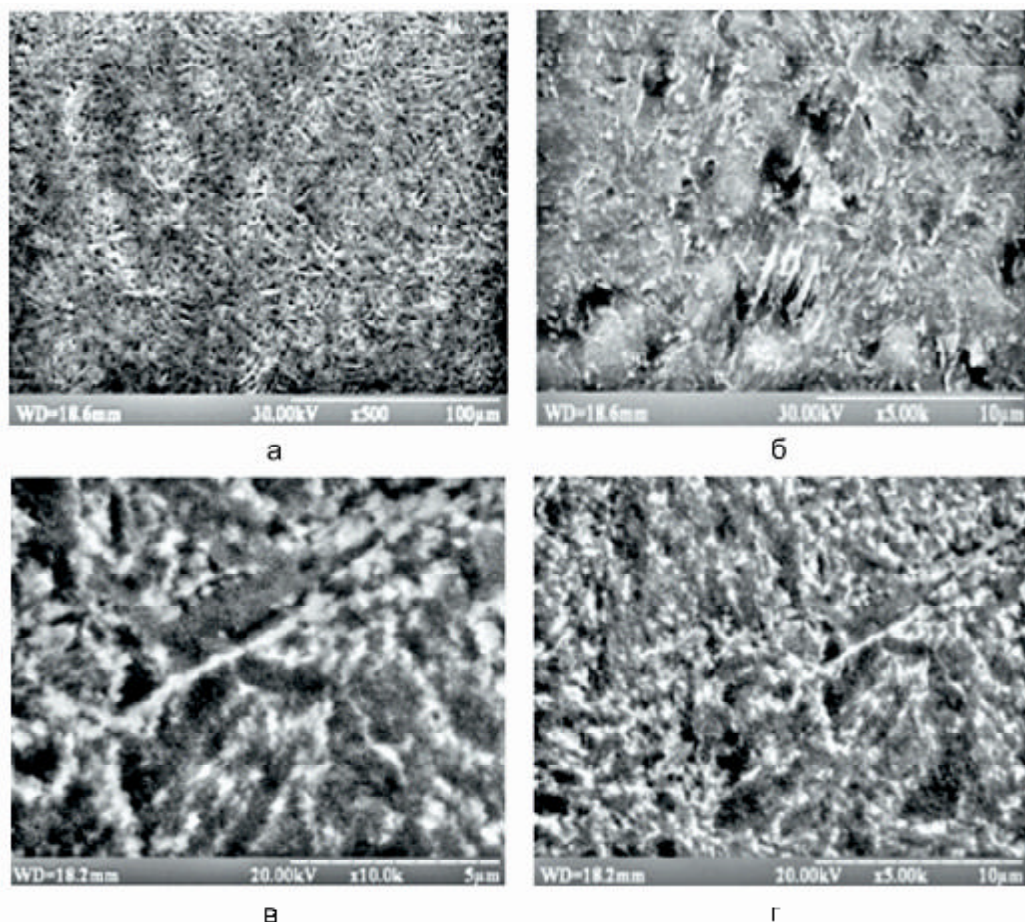


Рис. 4. Мікроструктура поверхневого шару зразків сталі 4Х5МФ1С (а, б) та 60С2ХФА (в, г) після іонного азотування. РЕМ.

Fig. 4. Microstructure of the surface layer of 4X5MF1S (a, б) and 60C2XФА (в, г) steel samples after ion nitriding. REM.

Промислові випробування оправок зі сталі 60С2ХФА для холодної прокатки тонкостінних нержавіючих труб на підприємстві ТОВ ВО «ОСКАР» показали, що додаткове іонне азотування після традиційного термічного зміцнення забезпечує високу твердість поверхні, високий опір зношуванню, високу межу витривалості, корозійну стійкість. Якщо стійкість оправок стану ХПТР зі сталі 60С2ХФА після звичайного термічного зміцнення складає 295-300 м труб, то додаткове іонне азотування в плазмі тліючого розряду і подальше гартування з відпуском, дає стійкість 380-420 м.

Удосконалення технології термічної обробки прокатного інструменту для виробництва корозійностійких труб (оправок, роликів, опорних планок) з сталей 4Х5МФ1С і 60С2ХФА (гартування, відпуск з наступним іонним азотуванням в плазмі дугового розряду замість звичайної технології – гартування та відпуску) дозволило збільшити стійкість інструменту на ~30-

40 %, знизити витрати по переробці виготовлення труб, а також покращити якість внутрішньої поверхні труб.

Література

1. Каргин В.Р., Каргин Б.В. Теория и технология прессования, прокатки и волочения: навч. посіб. Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 72 с.
2. Чечулин Ю.Б. Холодная прокатка труб: навч. посіб. М.: Металлургия, 2017. – 332 с.
3. Технологии производства нержавеющей труб: сборник лекций / за об. ред. Е. Я. Лезинской; состав. К. М. Бильдин. Никополь: Сентравис, 2019. – 89 с.
4. Орлов Г.А. Холодная прокатка и волочение труб: уч.пос. Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 188 с.
5. Космацкий Я.И. Исследование процесса износа трубопрессового инструмента и разработка технических решений, направленных на повышение его эксплуатационного ресурса: квалиф. работа./ за заг. наук. ред. Я. И. Космацкого, Е.В.Королева.: Россия, Челябинск: 2017. – 165 с.
6. Koshenkov V.N. Complex Chemical-term. Processing Features Steels // Science Rise. – 2015. – № 4 (2). – С. 59-63.
7. Korbut E.V. Modern Methods of Surface Hardening of Tools // Problems of Grating and Construction. – 2010. – Vol. 54. – P. 149 – 153.
8. Смольников Е.А. Термическая и химико-термическая обработка инструментов в соляных ваннах: учеб.пос. М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
9. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов в газовых средах: навч. посіб. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 400 с.

References

1. Kargin V.R., Kargin B.V. *Teoriya i tekhnologiya pressovaniya, prokatki i volocheniya: navch. posnb.* (Theory and technology of pressing, rolling and drawing), Samara: Izd-vo SGAU, 2014, 72 p. [in Russian].
2. Chechulin Yu.B. *Kholodnaya prokatka trub* (Cold rolling of pipes) M.: Metallurgiya, 2017, 332 p. [in Russian].
3. Lezinskaya E.Ya., Bildin KM etc. *Tekhnologii proizvodstva nerzhaveyushchikh trub: sbornik lektsny* (Collection of lectures on the technology of production of stainless steel pipes. Centravis), Nikopol': Sentravis, 2019, 89 p. [in Russian].
4. Orlov G.A. *Kholodnaya prokatka i volocheniye trub: uch.pos.* (Cold rolling and drawing of pipes), Yekaterinburg: UrFU, 2011, 188p. [in Russian].
5. Kosmatskiy Ya.I. *Issledovaniye protsesssa iznosa trubopressovogo instrumenta i razrabotka tekhnicheskikh resheniy, napravlennykh ne povysheniye yego ekspluatatsionnogo resursa: kvalnf. Robota* (Research of the process of wear of the pipe press tool and development of the technical decisions directed not increase of its operational resource), Chelyabinsk: 2017, 165 p. [in Russian].
6. Koshenkov V.N., *Science Rise*, 2015, No. 4 (2), pp. 59-63 [in English].
7. Korbut E.V., *Problems of Grating and Construction*, 2010, Vol. 54, pp. 149 – 153 [in English].
8. Smol'nikov Ye.A. *Termicheskaya i khimiko-termicheskaya obrabotka instrumentov v solyanykh vannakh: ucheb.pos.* (Thermal and chemical-thermal treatment of tools in salt baths), M.: Mashinostroyeniye, 1989, 312 p. [in Russian].

9. Arzamasov B.N., Bratukhin A.G., Yeliseyev Yu.S., Panayoti T.A. *Ionnaya khimiko-termicheskaya obrabotka splavov v gazovykh sredakh: nauchn. posob.* (Ionic chemical-thermal treatment of alloys in gaseous media), M.: Izd. MGТУ im. N.E. Bauman, 1999, 400 p. [in Russian].

Одержано 14.02.22

Stolbovoy V. O., Srebryansky G. O., Krivchik L. S., Khokhlova T. S., Pinchuk V. L.

Strengthening of the tool for cold roller rolling of corrosion-resistant pipes

Summary

The work is devoted to a topical technical problem - to increase the wear resistance of pipe tools for cold roller rolling of corrosion-resistant pipes, due to its significant cost and difficult working conditions. It is proposed to improve the technology of heat treatment of rolled tools for the production of corrosion-resistant pipes (mandrels, rollers, support strips) from steels 4X5MΦ1C and 60C2XΦA. Instead of the usual technology - tempering with tempering, tempering with tempering and subsequent ionic nitriding in plasma of two-stage vacuum-arc discharge in a modified installation "Bulat-6" in the laboratory of plasma technology. The microstructure of special samples of these steels on a scanning electron microscope (SEM) at different magnifications was studied. Their microhardness was determined using a microhardness tester PMT-3. A comparison of the microhardness of the samples after traditional treatment and the proposed. The wear resistance of the actual tool (mandrels made of 60C2XΦA steel) for cold roller rolling of particularly thin-walled corrosion-resistant pipes was studied directly during industrial tests in the factory. Studies of the microstructure on the REM of the nitrided layer after ion-plasma nitriding revealed a finely dispersed very strong ε-phase. Due to its presence in the surface layer, the surface hardness of nitrided parts increases due to the formation of stable in the process of heating carbides, nitrides, carbonitrides. Steel acquires high hardness on the surface, high wear resistance, high endurance, corrosion resistance. Tests of mandrels in the factory, which were additionally subjected to ionic nitriding, showed an increase in their stability by 25-30 %. Also reduced the cost of processing the manufacture of pipes and improved the quality of the inner surface of the pipes (absence of films, cuts and other defects of corrosion-resistant pipes). Replacement of steel 60C2XΦA with secondary hardening steel 4X5MΦ1C for the manufacture of rollers and support bars in addition to improving the quality of the inner surface of the pipes increased the stability of the tool by 2.7-3.0 times.

Keywords: rollers, support laths, mandrels, cold rolling, heat treatment, ionic nitriding.