

Вибір матеріалів для наплавлення деталей рухомого складу залізниць

Вступ, постановка проблеми. Термін служби деталей машин і механізмів, в першу чергу, залежить від умов їх експлуатації та зносостійкості матеріалів, з яких ці деталі виготовлені. Для обґрунтованого вибору або розробки матеріалів, методів і технологій наплавлення зношених деталей в першу чергу необхідний ретельний аналіз умов їх роботи і видів зношування, яким вони піддаються в процесі експлуатації [1-7]. При цьому, як правило, багато з деталей, що наплавляють піддаються одночасно декільком видам зношування, що багато в чому ускладнює обґрунтований вибір наплавочних матеріалів і технологій наплавлення. Особливу небезпеку становлять втомні пошкодження від циклічних механічних навантажень, які в поєднанні з іншими видами зношування можуть призвести до передчасного руйнування деталі.

Аналіз досліджень та публікацій з розглядуваних питань показує, що даний напрям перспективний і потребує уваги. В роботах [8, 9] представлені результати досліджень триботехнічних властивостей наплавочного матеріалу, який автор пропонує для використання. Безумовно, роботи [8, 9] заслуговують уваги, проте в даній роботі запропоноване альтернативне рішення.

Метою даної роботи є підбір ефективних матеріалів для наплавлення зношених деталей рухомого складу залізниць.

На даний час при наплавленні деталей рухомого складу залізниць, наприклад, автозчеплення та п'ятиквового вузла використовують переважно суцільні дроти Св-08Г2С, ПП-Нп-14ГСТ та інші подібного типу. При цьому наплавлений метал має феритну структуру, що дозволяє уникати появи тріщин при наплавленні вуглецевих сталей, але не забезпечує необхідної зносостійкості наплавленого металу.

Великі перспективи в цьому сенсі обіцяє застосування електродних матеріалів, які забезпечують отримання наплавленого металу зі структурою метастабільного аустеніту. Ці матеріали також дозволяють проводити наплавлення вуглецевих і високовуглецевих сталей без або з мінімальним підігрівом і, в той же час, можуть зміцнюватись в результаті наклепу в процесі виготовлення та експлуатації, що значно збільшує їх зносостійкість.

Відомості про ці матеріали та їх аналоги, які ймовірно можуть бути використані для поставленої мети, наведено в таблиці 1. Вони умовно розділені на дві групи: I - хромонікельмарганцева і II - хромомарганцева.

Типові представники групи хромонікельмарганцевих наплавних матеріалів – вітчизняний дріт Св-08Х20Н9Г7Т, її російський (Св-08Х21Н10Г6) і європейські аналоги (18Cr/8Ni/6Mn, 1.4370, ОК Autrod 16.95 та ін.). Вказані матеріали забезпечують високі показники міцності і пластичності наплавленого металу, відрізняються гарною зварюваністю. Однак їх зносостійкість і твердість у результаті наклепу збільшується незначно. Ці дроти широко використовують для зварювання високоміцних сталей зі сталлю Г13, для нанесення проміжних шарів перед наплавленням матеріалів з підвищеним вмістом вуглецю, а також для виправлення дефектів лиття [10-13].

Таблиця 1 – Аустенітні електродні матеріали, що застосовують для наплавлення.

Група	№ п/п	Марка або позначення дроту	Масова частка елементів, %							
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ti
I	1	Св-08Х20Н9Г7Т*	0,08	0,6	7,0	20	9	-	-	0,8
	2	Св-08Х21Н10Г6*	0,08	0,3	6,0	21	10	-	-	-
	3	ОК Autrod 16.95*	0,07	0,5	6,0	19	8	-	-	-
	4	X8CrNiTi 20.9*	0,08	0,6	7,0	20	9	-	-	0,8
II	5	ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ (ПП-АН202)**	0,10	0,8	12,0	13,0	-	0,8	0,3	-
	6	ПП-Нп-30Х10Г10Т**	0,30	0,2	10	10	1,5	-	-	0,2
	7	Св-08Х14Г14Н3Т*	0,08	0,4	14	14	3,5	-	-	0,5
	8	ОК Tubrodur15.65**	0,30	0,5	14	17	1,8	0,8	0,6	-
	9	AP-0**	0,45	0,7	14,5	14,5	-	0,9	0,3	-
	10	MC-16**	0,14	0,6	17	15	2,0	-	-	-

* - суцільні дроти; ** - порошкові дроти.

До другої групи віднесені хромомарганцеві сталі з невеликими добавками нікелю, молібдену, ванадію або титану. Дроти та електроди цієї групи застосовують для наплавлення деталей гідротурбін, рейок, заварки дефектів лиття і т.д.

Вивчення діаграм стану сплавів системи Fe-Cr-Mn (рис. 1 і 2) показує, що кількість аустеніту в них при високих температурах мало залежить від вмісту марганцю [14, 15].

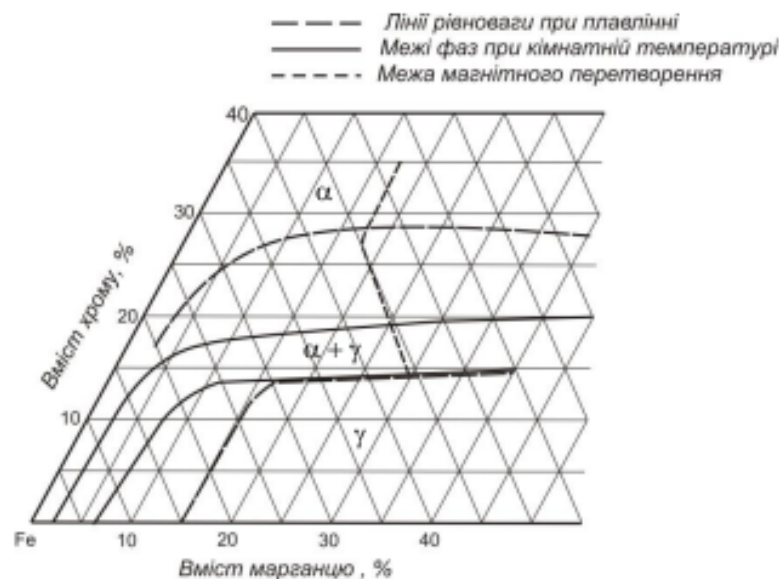


Рисунок 1 – Межі фаз у системі залізо-хром-марганець [14]

Вплив марганцю, в основному, полягає в зменшенні критичної швидкості охолодження і в зниженні мартенситної точки до такої міри, що стабільний при більш високих температурах аустеніт можна переохолодити без розпаду до кімнатної і навіть негативних температур.

Наплавлений метал цього типу має структуру метастабільного аустеніту; його твердість в результаті наклепу може збільшуватися до HRC 40...45.

Прикладом може служити метал, наплавлений порошковим дротом ПП-Нп-30Х10Г10Т, розробленим в Уральському політехнічному інституті [16-19].

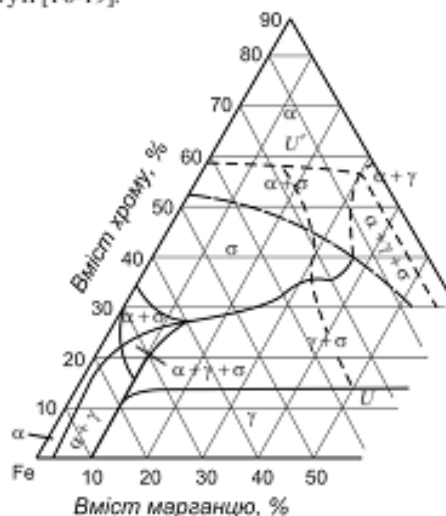


Рисунок 2 – Ізотермічний переріз при 700 °С діаграми потрійної системи залізо-хром марганець [14]

Загартований від 1100 °С наплавлений метал 30Х10Г10 має чисто аустенітну структуру. Мартенситне перетворення в ньому починається при температурі мінус 30...50 °С, проте розвивається воно дуже слабо. Максимальна кількість мартенситу, що утворився при охолодженні навіть до мінус 196 °С, не перевищує 5...10 %. При цьому пластична деформація різко прискорює розпад аустеніту наплавленого металу 30Х10Г10. Під дією ударів аустеніт поверхневого шару перетворюється на ξ -фазу і мартенсит деформації, кількість якого досягає 50 %. У міру зношування поверхневого шару в роботу вступають і зміцнюються нові шари металу.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона для наплавлення деталей з вуглецевих і високовуглецевих сталей без підігріву був розроблений порошковий дріт ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ (ПП-АН202), що забезпечує отримання наплавленого металу з метастабільною аустенітною структурою, що зміцнюється при деформації [20].

Були проведені дослідження структури і властивостей металу Г13Х13Н2МФ стосовно відновлення вибраних деталей рухомого складу. Для досліджень порошковим дротом ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ було проведено наплавлення восьми шарів на довгий торець пластини зі сталі Ст3 розмірами 16 × 150 × 400 мм. Режим наплавлення дротом діаметром 2,6 мм під флюсом АН-26: струм – 300...350 А, напруга 30...32 В, швидкість

наплавлення – 20 м/год. Зразки для досліджень вирізали з четвертого-восьмого шару, що забезпечувало постійність хімічного складу і властивостей по всьому перетину зразка (рис. 3).

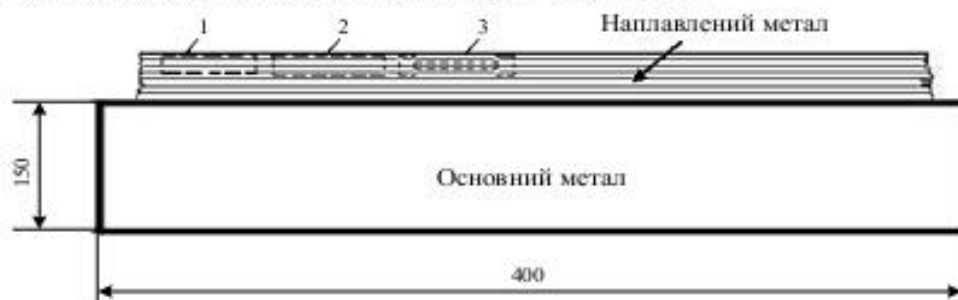


Рисунок 3 – Схема вирізки зразків для дослідження властивостей наплавеного металу:

1 – зразки для дослідження структури і для вимірів твердості; 2 – зразки для дослідження зносостійкості; 3 – зразки МІ-12 для випробувань на розтяг

Дослідження показали, що безпосередньо після наплавлення метал має чисто аустенітні структуру (рис. 4) з твердістю 24...28 HRC. Наклеп в процесі механічної обробки (накатка) або безпосередньо в процесі експлуатації підвищує твердість наплавеного металу до 40...45 HRC, що призводить до значного підвищення його зносостійкості.

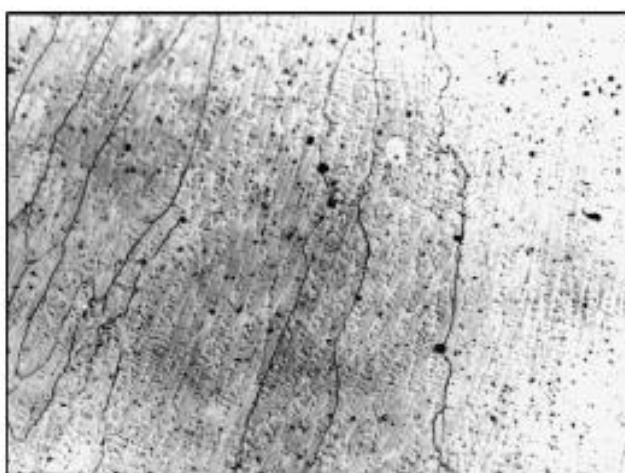
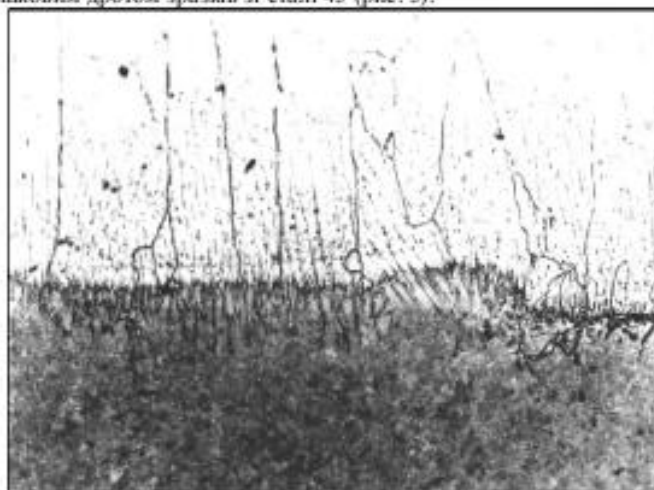
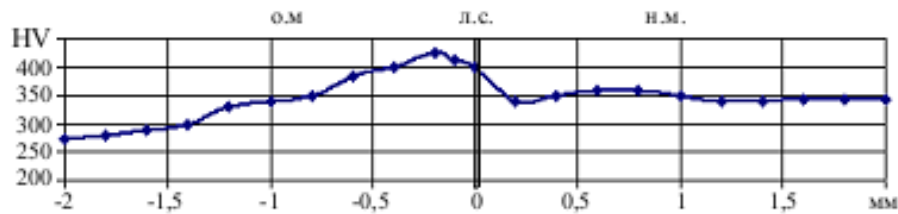


Рисунок 4 – Мікροструктура металу, наплавеного порошковим дротом ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ (× 300).

Були проведені також дослідження мікροструктури і заміри мікротвердості в зоні сплавлення при напавленні цим же порошковим дротом зразків зі сталі 45 (рис. 5).





б

Рисунок 5 – Мікроструктура і мікротвердість зони сплавлення сталі 45 і металу, наплавленого порошковим дротом ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ: о.м. – основний метал; л.с. - лінія сплавлення; н.м. - наплавлений метал.

Наплавлений метал першого валика має литу аустенітну структуру з твердістю близько HV 350. На межі сплавлення з основним металом видно тонкий карбідний прошарок (рис. 5, а) з твердістю HV 390. Знеутлецьована зона в ЗТВ основного металу під карбідним прошарком ледь проглядається. Структура ділянки перегріву ЗТВ під першим валиком – бейніт + перліт з твердістю HV 420 (рис. 5, б). Далі твердість плавно знижується до HV 270..280 при переході структури з бейнітоперлітної в ферітоперлітну.

Були проведені дослідження механічних властивостей металу, наплавленого порошковим дротом ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ. В результаті проведених досліджень були отримані наступні результати (середні по випробуванням 5 зразків): $\sigma_t = 433$ МПа; $\sigma_b = 667$ МПа; відносне подовження – 18,5 %; відносне звуження – 23 %. Для порівняння, механічні властивості якісної катаної вуглецевої сталі 20 по ГОСТ 1052: $\sigma_t = 250$ МПа; $\sigma_b = 410$ МПа; відносне подовження – 25%; відносне звуження – 55%. Таким чином, наплавлений метал за міцнісними властивостями перевершує сталь 20 і децю поступається їй за пластичними властивостями.

Були проведені дослідження триботехнічних властивостей наплавленого металу, наплавленого порошковим дротом ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ. Для порівняння досліджували триботехнічні властивості металу, наплавленого серійними суцільними дротами Св-08Г2С, Св-14ГСТ, Св-08ХМФ. Випробування проводили методом витирання лунки за схемою «вал-площина» без додаткової подачі мастила в зону тертя [21]. Схема вирізки зразків із наплавлених заготовок наведена на рис. 3. Досліджувані зразки мали розміри 3x15x25 мм, площа тертя - 3x15 мм. Вал - контргіло діаметром 40 мм і висотою 12 мм виготовляли із сталі 45 і гартували на твердість HRC 42.

Режим випробувань: швидкість ковзання 1 м/с, навантаження 30 Н, частота обертання вала з контргілом 30 об/хв; шлях тертя – 113 м. Цей режим забезпечував стабілізацію триботехнічних характеристик всіх досліджених зразків. Використання системи позиціонування дозволяло повторювати випробування кожного наплавленого зразка не менше 3-х разів на новій ділянці поверхні тертя зразка і на новій доріжці тертя контргіла.

При випробуваннях наплавленого зразка визначали силу тертя, знос наплавленого зразка за обсягом витертої лунки, знос контргіла за різницею його маси до і після випробування. Коефіцієнт тертя розраховували як частка від ділення значення сили тертя на навантаження, похибка його визначення не перевищувала 5 %.

Результати випробувань наведені на рис. 6...8.

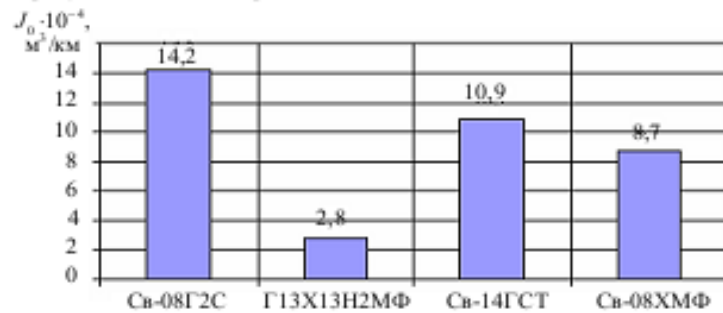


Рисунок 6 – Знос зразків наплавленого металу різного складу

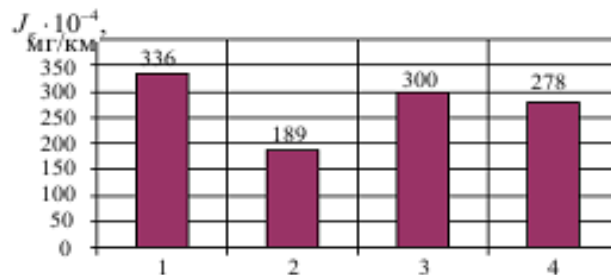


Рисунок 7 – Знос контргіла зі сталі 45 в поєднанні з наплавленими зразками:

1 - Св-08Г2С, 2 - ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ; 3 - Св-14ГСТ, 4 - Св-08ХМФ.

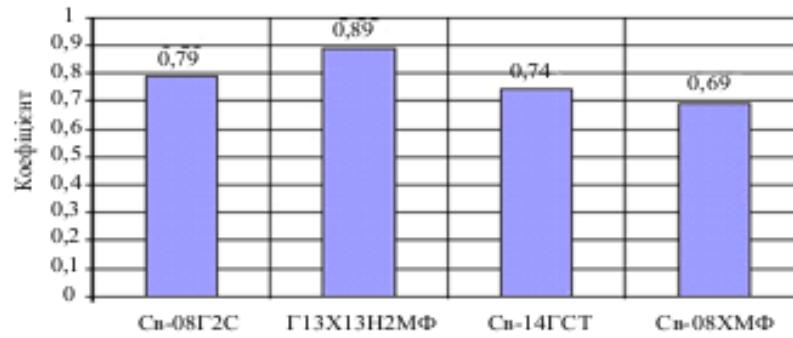


Рисунок 8 – Коефіцієнти тертя металу, наплавленого різними дротами.

Аналізуючи отримані результати, можна констатувати, що найбільш високі показники зносостійкості має аустенітний наплавлений метал Г13Х13Н2МФ. Знос зразків цього металу був в 3...5 разів нижче, ніж знос зразків з низьковуглецевої низьколегованого металу. Знос контргіла зі сталі 45 при його випробуваннях також був мінімальним.

Результати визначення коефіцієнтів тертя (рис. 8) говорять про відсутність прямої залежності між цим показником і зносостійкістю.

Як вказувалося вище, висока зносостійкість наплавленого металу Г13Х13Н2МФ можна пояснити здатністю метастабільного аустеніту до наклепу і фазовим перетворенням. Причому ці перетворення можуть відбуватися безпосередньо в процесі зношування. Для дослідження цього процесу був проведений вимір мікротвердості на косих шліфах торцевих поверхонь зразків, які були випробувані на знос. Косі шліфи дозволяють проводити виміри мікротвердості поблизу зношеної поверхні.

Застосовувалася наступна методика приготування шліфів. Випробувані на знос зразки електролітично нікельовані з таким розрахунком, щоб шар нікелю на зношеній торцевій поверхні був не менше 40...50 мкм. Після нікелювання зразки затискали в оправки, причому між зношеною поверхнею і площинною оправки прокладали смужки свинцю та нікелю товщиною 0,5 мм кожна. Зразки в оправках шліфували в спеціальному пристрої так, щоб кут між площинною шліфування і бічною незношеною поверхнею зразка становила 7°. Шліфи полірували в оправках і після електролітичного травлення в хромовій кислоті робили заміри мікротвердості на приладі ПМТ-3 при навантаженні 20 г від зношеного торця зразка до його середини.

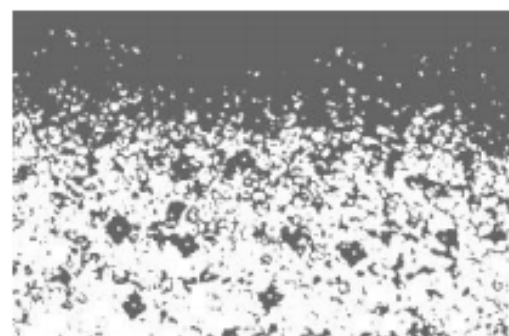
У таблиці 2 наведені середні по шести вимірам значення мікротвердості на різних відстанях від зношеного торця зразка. Там же, для порівняння, наведені значення мікротвердості для не зношеного зразка. На рис. 9, а, б наведені мікроструктури поверхневого шару цих зразків.

Таблиця 2 – Мікротвердість поверхневого шару зразків наплавленого металу Г13Х13Н2МФ

Зразок, на якому випробувалась мікротвердість	Мікротвердість (МПа) на відстані від зношеного торця зразка (мкм)				Центр зразка
	10	30	50	100	
До випробувань на знос	4780	4780	4550	4670	4780
Після випробувань на знос	5770	5860	4890	4570	4810



а



б

Рисунок 9 – Мікроструктура поверхневого шару зразків наплавленого металу Г13Х13Н2МФ до (а) та після (б) зношування. x450. Травлення електролітичне в 20 % розчині хромової кислоти

Як видно з табл. 2 і рис. 9 в процесі зношування йде зміцнення поверхневого шару, в якому йде перетворення $\gamma \rightarrow \alpha$, тобто деяка кількість метастабільного аустеніту перетворюється в мартенсит, що призводить до збільшення зносостійкості наплавленого металу.

Висновки. Таким чином, за результатами проведених досліджень зносостійкості наплавленого металу феритного і аустенітного класів для наплавлення обраних деталей рухомого складу залізничного транспорту може бути рекомендований порошковий дріт ПП-Нп-Г13Х13Н2МФ, що забезпечує отримання наплавленого металу з дуже високою зносостійкістю.

Список літератури

1. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин /Е.Л.Шведков, Д.Я.Ровинский, В.Д.Зозуля, Э.Д.Браун. – Киев: Наукова Думка, 1979. – 185 с.
2. Мур Д. Основы и применения трибоники. – М.: Мир, 1978. – 487 с.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
4. Костецкий Б.И. Надежность и долговечность машин. – Киев: Техника, 1975. – 404 с.
5. Демкин Н.Б., Рыков Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. - М.: Машиностроение, 1981. - 244 с.
6. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
7. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
8. Павлов Н.В. и др. Высокопроизводительная износостойкая наплавка литых деталей тележек грузовых вагонов / Н.В. Павлов, В.К. Струнец, Д.Н. Абраменко // Развитие железнодорожного транспорта в условиях реформирования: Сб.науч.тр. / Под ред. Ю.М. Черкашина, Г.В. Гогричани. – М.: Интекст, 2006. – С. 175 – 183
9. Абраменко Д.Н., Павлов Н.В. Триботехнические свойства комплексно-легированного наплавленного металла со структурой игольчатого феррита. Вестник ВНИИЖТа, № 4, 2008. С. 31-37
10. Слуцкая Т.М., Гуревич С.М. Аустенитная электродная проволока типа Х21Н10Г6 для автоматической сварки. // Автомат. сварка. – 1955. – №3. – С. 51-59.
11. Освоение промышленного производства сварочной проволоки марки Св-08Х20Н9Г7Т на ОАО «Днепроспецсталь» / К.А.Ющенко, Л.В.Чекотило, Ю.Н.Каховский и др. // Автомат. сварка. – 2000. – № 3. – С. 29-31,45.
12. Структура переходного слоя в зоне сплавления среднелегированных сталей типа 30ХНМ с аустенитным швом/ Ю.А.Стеренбоген, А.Т.Дибец, В.В.Снисарь и др. // Автомат. сварка. – 1978. – № 2. – С. 1-4.
13. Готальский Ю.Н., Снисарь В.В. Проволоки для сварки разнородных сталей. // Сварочное производство. – 1970. – №2. – С. 42-44.
14. Гудремон Э. Специальные стали, т.1 –М.: Металлургиздат, 1959. – 959 с.
15. Каховский Н.И. Сварка высоколегированных сталей. – Киев: Техника, 1975. – 375 с.
16. Богачёв И.Н., Малинов Л.С., Миц Р.И. Новые кавитационностойкие стали для гидротурбин и их термообработка. – М.: НИИИИформТяжМаш, 1967.– 48 с.
17. Богачёв И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы. Успехи современного металловедения. – М.: Металлургия, 1972. – 189 с.
18. Богачёв И.Н., Егорова В.Ф. Структура и свойства железомарганцевых сплавов – М.: Металлургия, 1973. - 296 с.
19. Разиков М.И., Миличенко С.Л., Ильин В.П. Сварка и наплавка кавитационностойкой стали марки 30Х10Г10 – М.: НИИМаш, серия ОМ-V, 1964. – 47 с.
20. Каленський В.К., Рябцев І.О., Черняк Я.П. Порошковий електродний дріт для зварювання й наплавлення сталевих виробів. Патент України №39646 з пріоритетом від 24.11.2000, надрукований 15.09.2003. Бюл. № 9.
21. Рябцев І.І., Черняк Я.П., Осин В.В. Блочно-модульна установка для испытаний наплавленного металла//Сварщик. - 2004. - № 1. - С. 18-20.