

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.7; 631.313

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.140-151>

В.М. Кропивний, проф., канд. техн. наук, **М.О. Свірень**, проф., д-р техн. наук, **О.В. Кузык**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Амосов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: vlkropivny@gmail.com, e-mail: kaf_sgm_kntu@ukr.net, e-mail: kuzukov1985@gmail.com, e-mail: v_vas_a@ukr.net

М.А. Козловський, інженер

ПП «Астарта Груп», м. Кропивницький, Україн, e-mail: kozlovsky@astarta-groupe.com

Технологічні особливості виготовлення дискових робочих органів ґрунтообробних та посівних машин

Провідні світові виробники досягають високих показників зносостійкості та міцності дисків з борвмісних сталей як їх хімічним складом, так і вибором раціональної технології термічної обробки.

Експериментальні дослідження зразків деталей зі сталі марки 30MnB5 дозволили визначити, що для досягнення максимальних значень твердості достатньо нагріву протягом 15 хвилин до температури 850° С та гартування у воді. Щоб запобігти зниженню твердості та забезпечити необхідну пружність та в'язкість дисків, рекомендується відпускання при температурі 180° С.

Розроблено технологічний процес та виробничу дільницю виготовлення сферичних дисків.
сферичний диск, зносостійкість, міцність, борвмісна сталь, гартування, відпускання

В.Н. Кропивний, проф., канд. техн. наук, **Н.А. Свірень**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Кузык**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Амосов**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Н.А. Козловський, інженер

ЧП «Астарта Груп», г. Кропивницький, Україна

Технологические особенности изготовления дисковых рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин

Ведущие мировые производители достигают высоких показателей износоустойчивости и прочности дисков из борсодержащих сталей как их химическим составом, так и выбором рациональной технологии термической обработки.

Экспериментальные исследования образцов деталей из стали марки 30MnB5 позволили определить, что для достижения максимальных значений твердости достаточно нагрева на протяжении 15 минут до температуры 850° С и закалки в воде. Чтобы предотвратить снижение твердости и обеспечить необходимую упругость и вязкость дисков, рекомендуется отпуск при температуре 180° С.

Разработан технологический процесс и производственный участок изготовления сферических дисков.

сферический диск, износоустойчивость, прочность, борсодержащая сталь, закалка, отпуск

Постановка проблеми. Обробіток ґрунту та проведення посівних робіт є одним з вирішальних чинників отримання високих врожаїв. Для забезпечення якісної обробки ґрунту та проведення посівних робіт світове сільськогосподарське машинобудування поставляє на ринок великий парк надійної та високопродуктивної техніки. За минулі десятиліття навантаження на робочі органи цього виду техніки зросли не менше ніж у 4

рази. В багатьох випадках українські аграрії віддають перевагу імпортній техніці, враховуючи її більш високий ресурс у порівнянні з вітчизняними зразками та забезпечення якості проведених операцій [1]. Закупівлі сільгоспмашин зарубіжного виробництва для обробки ґрунту та проведення посівних робіт (дискових борін і луцильників, дисків сошників сівалок), викликає необхідність придбання високоякісних імпортних запасних деталей швидкозношуваних робочих органів, що істотно підвищує собівартість сільськогосподарської продукції. Крім вищого рівня експлуатаційних властивостей імпортна продукція («Kverneland», «Lemken», «Vogel&Noot», «Kuhn», «Agrolux», «ØVERUM» тощо), хоча і дорожча, вигідно відрізняється від вітчизняних аналогів розвиненою спеціалізацією стосовно конкретних ґрунтових і кліматичних умов, а також від вирощуваних культур. Аналіз свідчить, що для забезпечення стабільного проведення робіт по підготовці ґрунту та посіву сільськогосподарських культур необхідно імпортувати близько сотні типорозмірів робочих органів. Основними зарубіжними виробниками сферичних та плоских дисків є фірми Lemken і Amazone (ФРН), Vaderstad (Швеція), QUIVOGNE, Kuhn, Agrisem і GrégoireBesson (Франція), Gaspardo, OFAS (Італія), JOHN DEERE, CASE і Sanflorer (США), Bellota (Іспанія), Oncativo SA (Аргентина). Наприклад, італійська фірма OFAS S.p.a. випускає 18 найменувань дисків 207 типорозмірів для ґрунтообробних машин та 21 найменування сошників 155 типорозмірів для посівних машин [2].

На сівалках, дискових боронах, культиваторах, плугах і луцильниках установлюють увігнуто-опуклі сферичні диски зовнішнім діаметром 410...910 мм при товщині до 8 мм. Застосовуються сферичні диски двох типів: вирізні і гладкі (цільно-крайні). Вирізні диски застосовують на важких боронах, плоскосферичні – на болотних боронах і дискових луцильниках, а сферичні – на польових боронах, дискових культиваторах і дискових плугах. Крім того, на ряді зразків ґрунтообробної техніки використовують плоскі диски зовнішнім діаметром 255...914 мм при товщині від 2,5 до 12 мм, а також плоскі хвилясті диски (турбодиски) зовнішнім діаметром 340...545 мм при товщині 2,5...4,0 мм. При цьому потреба у деяких типорозмірах є незначною, що ускладнює логістику їх поставок. Це робить задачу імпортозаміщення запасних деталей швидкозношуваних робочих органів досить актуальною. Підприємства сільськогосподарського машинобудування України виготовляють спеціалізовано вузьку номенклатуру швидкозношуваних робочих органів. Для України є доцільним створення спеціалізованого гнучкого виробництва широкого ряду запасних деталей швидкозношуваних робочих органів імпортової сільськогосподарської техніки з сучасних зносостійких матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робочі органи ґрунтообробних машин виходять з ладу внаслідок абразивного зношування, інтенсивність якого залежить від механічного складу ґрунту, вологості, співвідношення твердості абразиву і матеріалу деталі, структури матеріалу робочої поверхні деталі. Традиційні сталі зазначеного призначення з тимчасовим опором 900–1200 МПа (сталі 40Х, 45, 65Г тощо) не задовольняють сучасним вимогам по ресурсу експлуатації. Вимоги до властивостей таких сталей для виготовлення дисків борін і сівалок, які працюють в умовах абразивного зношування, тривалий час в практиці сільськогосподарського машинобудування визначалися лише за їх рівнем твердості після термічної обробки.

В той же час, залежно від типу ґрунтів, їх ущільненості, засмічення камінням спостерігається низька зносостійкість деталей з цих сталей, передчасне затуплення лезових частин робочих органів, велика кількість поломок і деформацій, пов'язаних з низькими характеристиками міцності, пластичності, пружності, втомної міцності.

З початку XXI-го століття для виробництва деталей швидкозношуваних робочих органів сільськогосподарської техніки знаходять широке застосування високоміцні матеріали з тимчасовим опором понад 1600 МПа. Для виготовлення швидкозношуваних деталей сільськогосподарської техніки на ринку рекламують листовий прокат зі зносостійких сталей торгових марок Raex, Domex, Hardox, Weldox, SSAB Boron тощо. Згідно проспектів компаній-виробників, до складу таких сталей входить 0,18...0,47% вуглецю, 0,4...0,7% кремнію, 1,0...1,7% марганцю, 0,1...1,5% хрому, а також молібден та нікель. Марганець, молібден хром і бор внаслідок блокування дифузійних перетворень підвищують прогартовуємість, що дозволяють отримувати сталь з мартенситною структурою в широкому діапазоні швидкостей охолодження. Дані зносостійкі сталі містять бор на рівні 0,005 %.

Близькі механічні властивості до цих сталей мають більш дешеві сталі марок 30MnB5, 34MnB5, 38MnB5 регламентованих стандартом EN 10083-3:2006(E), що містять оптимальну кількість бору та марганцю, економлячи легуючі елементи (хром, нікель, молібден) [3].

Ефект від мікролегування сталі бором для гальмування розпаду переохолодженого аустеніту пов'язують з тим, що, будучи поверхнево-активним елементом, бор концентрується в дефектних ділянках кристалічної ґратки і створює бар'єрний шар вздовж меж зерен аустеніту. Це забезпечує гальмування утворення феритної фази та розпаду аустеніту і дозволяє широко застосовувати борвмісні сталі для виробництва деталей методом високопродуктивного поєднання гарячого листового штампування в холодних штампах з гартуванням. Технологія термічної обробки передбачає швидке нагрівання в печі до температури ($T > A_{c3}$) 900° С протягом 4...10 хвилин, після якого проводиться гартування з аустенітного стану на мартенситну структуру у водоохолоджуваному штампі. У випадку завершення штампування при температурах нижчих A_{c3} , в структурі, крім мартенситної структурної складової, частково формується бейніт, що дозволяє без проведення відпалу підвищити пластичність і в'язкість сталі при незначному зменшенні її механічних властивостей. В той же час, повільна швидкість охолодження призведе до формування верхнього бейніту та відманштетових феритних структур. При гартуванні борвмісних сталей важливо, щоб швидкість охолодження була достатньо високою для створення кінцевої мартенситної мікроструктури, яка забезпечує високу зносостійкість та міцність при достатньо високій ударній в'язкості. Проведення гартування в штампах дозволяє уникнути похибок форми готових деталей від короблення.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка технологічного процесу та виробничої дільниці із виготовлення сферичних дисків.

Виклад основного матеріалу. Розвиток виробництва високоміцних бористих сталей визначило два основних напрямки їх використання:

– в автомобілебудуванні для виготовлення методом тонколистового гарячого штампування відповідальних силових кузовних деталей та зварних труб невеликого діаметру. Загартування проводиться в процесі формування виробу в водоохолоджуваному штампі;

– в сільськогосподарському машинобудуванні для виготовлення робочих органів, що працюють в умовах абразивного зношування.

Проведено дослідження матеріалу ряду дисків сівалок та борін провідних світових виробників (Lemken, ONCATIVO), які реалізуються сервісними підприємствами м. Кропивницький. Визначали хімічний склад та рівень твердості методом Роквелла (HRC) з обох боків в діаметральному напрямку від краю різальної кромки до центру з кроком 15...20 мм. Встановлено, що хімічний склад досліджених

зразків знаходиться в межах 0,26...0,33% С, 0,15...0,25% Si, 1,4...1,5% Mn, 0,002...0,03% В. За визначеними значеннями хімічного складу досліджувані сталі найбільш близькі до марки 30MnB5 регламентованих стандартом EN 10083-3:2006 (E). Твердість поверхонь аналізованих дисків знаходилася на рівні 45...49 HRC. Коливання твердості при промірюванні у діаметральному напрямку складало від 2 до 6 HRC, при відсутності чіткого зв'язку між значеннями по мірі віддалення від краю заготовки. При обробці результатів вимірювань не встановлено кореляцію між виміряними значеннями твердості та вмістом вуглецю в проаналізованих дискових робочих органах. Очевидно, що основним технологічним параметром, який визначає твердість поверхні робочих органів зі сталі 30MnB5 є ефективність проведення термічної обробки цих сталей [4-8].

Стандарт EN 10083-3:2006 (E) регламентує твердість після гартування на поверхні сталевого листа зі сталі 30MnB5 товщиною до 8 мм в межах 47...56 HRC. Межа текучості з температури гартування 850° С у воді і відпусканні 400...600° С (лист товщиною менше 8 мм) для сталі 30MnB5 становить 800 МПа. Межа міцності після гартування з температури 850° С в воді та відпускання 400...600° С (лист товщиною менше 8 мм) для сталі 30MnB5 становить 950...1500 МПа.

Структура бористої сталі в стані поставки являє собою суміш фериту і перліту, яка визначає недостатній рівень міцності, твердості і, відповідно, абразивної зносостійкості. Виходячи з рекомендацій виробників, за даними інформації проспектів, щодо режимів термообробки таких сталей – гартування з наступним середнім чи високим відпуском [7]. Однак, високий рівень твердості, який спостерігається на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин зі сталі 30MnB5 можливо досягати лише в загартованому (мартенситному) стані при гартуванні з послідовним низьким відпусканням. Забезпечення необхідної твердості і міцності, при збереженні прийняттого рівня пластичності і в'язкості може бути гарантовано лише при ретельному виборі режимів гартування і подальшого відпускання.

При нагріванні під загартування структура повинна складатися повністю з аустеніту – високотемпературної пластичної фази заліза. Нагрівання під гартування рекомендується проводити з температури на 30...50° С вище A_{c3} . За даними фірми Ovaко для сталі 30MnB5 температура A_{c3} становить близько 773° С. При перегріві вище температури приблизно 950° С має місце небажаний ріст зерна аустеніту. Виробники листової сталі 30MnB5 рекомендують період нагрівання під гартування – мінімум 30 хвилин [3].

Умови оптимізації режиму термічної обробки досліджували на зразках розміром 40×40 мм, які були виготовлені із бористої сталі 30MnB5 товщиною 6 мм. Для дослідження пружних властивостей зразки виготовляли зі сталі 30MnB5 розміром 150×20 мм товщиною 3 мм. Сталь мала наступний хімічний склад: 0,29% С, 0,19% Si, 1,4% Mn, до 0,003% В. Термічну обробку проводили в промисловій камерній електричній печі СНО-4.8.3/12,5 без використання захисної атмосфери. Нагрів зразків під гартування з різним часом витримки здійснювали у розігрітому до температур 800...920° С робочому просторі печі. При кожній температурі нагріву досліди повторювали тричі. У якості охолоджуючого середовища при гартуванні використовували воду при температурі 20° С. Відпуск загартованих зразків проводили при температурах 180...380° С з різним часом витримки.

На зразках після термічної обробки визначали значення твердості за методом Роквелла (HRC). Випробування зразків після відпускання на пружність при згині проводили на розривній машині УММ-50. Дослідження мікроструктури зразків проводили на поверхні шліфів загальноприйнятими методами оптичної мікроскопії.

Дослідження твердості загартованих зразків зі сталі 30MnB5 свідчить, що для досягнення максимальних значень твердості достатньо короткочасного нагріву протягом 15 хвилин до температури 850° С. При таких умовах нагріву забезпечується аустенізація структури перед гартуванням, при цьому не спостерігалось не прогартування сталі по товщині досліджуваного зразка (табл. 1). Нагрів до більш високих температур та збільшення часу витримки не забезпечує підвищення твердості зразків, а лише знижує стабільність отриманих результатів.

Причиною такого явища можуть бути процеси перерозподілу бору з міжфазних поверхонь по об'єму зерен та часткове окислення поверхневого шару. Основною структурною складовою у всіх зразках після гартування являвся мартенсит рейкової будови, кристали якого об'єднувалися у пакети шириною 100...150 нм. При цьому у структурі спостерігалася присутність залишкового аустеніту у вигляді прошарків між пакетами мартенситу. При таких умовах для стабільного досягнення більш високих значень твердості необхідно застосовувати бористі сталі з вищим вмістом вуглецю марок 34MnB5, 38MnB5.

Таблиця 1 – Значення твердості зразків зі сталі 30MnB5 після гартування (охладження у воді)

Середовище гартування	Гартування з температури, °С	Значення твердості, HRC			
		Час витримки T, хв			
		10	15	30	45
Вода	800	47...48	48...48	48...49	48...49
	850	49...50	51	49...50	49
	880	46...47	46...48	46...47	47
	920	47...50	48...51	47...50	47...50

Джерело: розроблено авторами

Метою проведення відпускання зразків з загартованої сталі було забезпечення високої пружності та в'язкості, а також зниження рівня внутрішніх напружень при збереженні високого рівня твердості робочих органів. Дослідження твердості зразків зі сталі 30MnB5 (табл. 2) після проведення відпускання при температурах 180...520° С свідчить, що перевищення температур низького відпускання вище 180° С веде до різкого зниження твердості. Відпускання при температурі 180° С забезпечувало у структурі перехід від мартенситу гартування до мартенситу відпускання, в якому концентрація вуглецю залишається значно вищою від його рівноважного вмісту в α -залізі. Збільшення тривалості витримки відпускання при температурі 180° С до 3-х діб показало підвищення твердості на 1...2 одиниці HRC за рахунок розвитку явища старіння з виділенням незначної кількості дисперсних карбідів. Збільшення температури відпуску до 380° С вело до трансформації мартенситу у нижній бейніт, що супроводжувалося значним зниженням твердості загартованих зразків та розвитком явища відпускну крихкості. Враховуючи отримані результати дослідження впливу низького відпуску на властивості загартованої сталі марки 30MnB5, вбачається можливість поєднання цієї операції термічної обробки з нагрівом перед фарбуванням порошковою фарбою до 200° С.

Таблиця 2 – Значення твердості зразків після відпускання загартованих сталей 30MnB5

Температура гартування	Температура відпускання, °C	Твердість після гартування у воді, HRC	Твердість після відпускання, HRC	
			Час витримки T, хв.	
			30	60
850° C	180	51	48	49
	380	51	36	38
	520	51	24	27
880° C	180	47	45	43
	380	47	34	35
	520	47	25	26

Джерело: розроблено авторами

Однією з важливих характеристик матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин є пружність – властивість зразків деформуватися під дією навантаження та відновлювати первинну форму і розміри після її зняття. Випробування зразків зі сталі марки 30MnB5 товщиною 3 мм на пружність після відпускання при згині після відпускання при температурах 180, 380 та 520°C (рис. 1–3). Початковий прогин зразків під навантаженням при відстані між опорами 100 мм складав 14 мм.



Рисунок 1 – Прогин зразків зі сталі марки 30MnB5 під навантаженням

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 2 – Вихідне положення зразків зі сталі марки 30MnB5 після зняття навантаження, температура відпускання – 180° C

Джерело: розроблено авторами

Загартовані зразки, які не піддавались відпусканню, та зразки, що піддавались низькому відпусканню 180°C , після зняття навантаження повністю відновлюють попередню форму, що вказує на пружній характер їх деформації. В той же час, у загартованих зразках, які піддавались відпусканню при 180 та 380°C , після зняття навантаження спостерігаються залишкові деформації, що є недопустимим для робочих органів ґрунтообробних машин.



Рисунок 3 – Вихідне положення зразків дисків сошника після зняття навантаження, температура відпускання – 380°C

Джерело: розроблено авторами

Проведено передпроектне пропрацювання виробничої дільниці спеціалізованого гнучкого виробництва широкого ряду запасних дискових деталей швидкозношуваних робочих органів імпоротної сільськогосподарської техніки на базі сучасних прогресивних технологій. Склад технологічного обладнання для виробничої дільниці визначали з можливості виготовлення найбільш технологічно складних за формою увігнуто-опуклих вирізних сферичних дисків зовнішнім діаметром до 910 мм при товщині до 8 мм.

Для формоутворення дисків передбачено застосування розкрою заготовок з вирізкою западин по зовнішньому контуру диска та внутрішніх отворів на лазерному верстаті з волоконним лазером потужністю 2 кВт. Застосування лазерного різання є альтернативою застосуванню традиційного листового штампування, яке при широкій номенклатурі продукції вимагає утримання вартісного штампового оснащення. До складу комплексу лазерного різання доцільно включати систему автоматичного завантаження/вивантаження листових заготовок розміром до 3000×1500 мм. В дільницю лазерного різання додатково має входити генератор кисню, подачу якого в зону різання необхідно здійснювати для підвищення продуктивності обробки.

Ріжуча крайка дискових робочих органів має бути загостреною до товщини $1\text{--}2$ мм і кута до 40° . Заточування ріжучих крайок по основній крайці на дискових заготовках різного діаметру передбачено здійснювати на токарно-карусельному одностійковому універсальному верстаті моделі 1510 стандартними токарними різцями. Верстат додатково має бути обладнаним пневматичним притискним пристосуванням для закріплення на столі дискової заготовки. Альтернативною операцією обробці різанням ріжучої крайки при обмеженій номенклатурі продукції є пластичне деформування методом вальцювання. Однак при використанні такого варіанту обробки необхідно використовувати спеціалізованого обладнання відповідного типорозміру, виготовлення якого може бути здійснене за спеціальним замовленням.

При виробництві увігнуто-опуклих сферичних дисків типу «ромашка» передбачається додаткова операція по формуванню ріжучих крайок у кожній з западин. При обмеженій номенклатурі продукції, ріжучі крайки утворюють шляхом застосування операції листового штампування «вирубання» окремо кожної западини. Дану операцію проводять на пресах у спеціальних штампах, де заготовка встановлюється під

кутом 40–45° до напрямку руху пуансона. Це дозволяє отримувати диски із загостреними краями по контуру западин.

При використанні лазерного різання заготовка вже має западини по контуру і потребує лише виконання заточення їх крайок. Проведений аналіз показав, що найбільш ефективно при радіусній формі поверхонь западин їх крайки в умовах дрібносерійного виробництва заточувати методом фрезерування на вертикально-фрезерному безконсольному верстаті, наприклад моделі 6540, з використанням у якості інструменту стандартних торцевих фрез. При цьому необхідно використовувати пристосування для закріплення заготовки на столі верстату та її періодичного ступінчастого повороту для обробки крайки наступної западини.

Після повного завершення механічної обробки заготовки деталей проходять нагрівання до температури гартування 850–900° С у газополуменевій прохідній термічній печі. Температура нагріву під гартування повинна бути вищою на 50° С за встановлену експериментальним шляхом для компенсації втрати температури при переносі заготовки з печі у гартувальний штамп. Продуктивність печі визначається, виходячи з продуктивності операції гартування заготовок. У випадку нагріву заготовок дискових робочих органів на виході термічної установки продуктивність печі повинна складати близько 1 заготовка за хвилину. Для гартування доцільним є застосування газової прохідної печі ТермоМастер®-КО-10.40.1/960-ИЗ-Н виробництва ПрАТ «Інститут Керамічного Машинобудування «Кераммаш»» з максимальною робочою температурою 960° С та довжиною робочого простору – 25 м, ширина 1 м (рис. 4) [9].

Особливістю гартування дискових заготовок є їх висока схильність до короблення і поводки. Особливо це характерно для випадку гартування у водному середовищі. Аналіз технологій виробництва дискових робочих органів провідними світовими виробничниками свідчить про застосування гартування заготовок у гартувальних штампах. При гартуванні плоских дисків, як правило, заготовку розміщують на нижню плоску металеву перфоровану плиту штампа, притискають зверху верхньою плоскою перфорованою плитою і занурюють у бак з водою. Тривалість гартування у воді 30...40 секунд, далі штамп піднімається на поверхню охолоджувальної ванни, розкривається, і з нього видаляють загартовану заготовку.

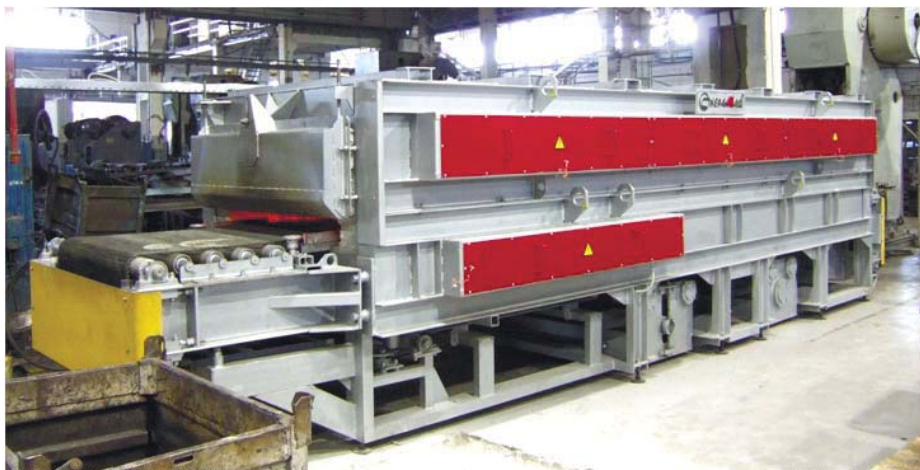


Рисунок 4 – Загальний вигляд газової печі ТермоГаз виробництва ПрАТ «Інститут Керамічного Машинобудування «Кераммаш»»

Джерело: [9]

Для виробництва увігнуто-опуклих сферичних дисків застосовується перспективне технологічне рішення, яке поєднує утворення готової форми деталей в процесі гарячого штампування і подальшу термічну обробку в гартувальних штампах. У технологічному процесі операція термічної обробки дисків з використанням інтенсивного охолодження потоком рідини є регламентуючою технологічною операцією, яка визначає технічний рівень виробу. У якості обладнання використовують спеціально спроектовані гартувальні преса, які поєднують гаряче штампування у холодних штампах і послідує гартування дискових робочих органів. Конструкція гідравлічних гартувальних пресів використовує два циліндри: робочий (з номінальним зусиллям 50 тс) на верхній траверсі, який виконує об'ємне формування, опорний в столі преса, щоб після формування занурити штамп з диском у гартувальну ванну місткістю 2 м³. Шток опорного циліндра проходить через ущільнення гартувальної ванни і з'єднується з матрицею штампа.

Завантаження в штамп гарячої заготовки здійснюється маніпулятором завантаження. Далі опускається пуансон, і йде формоутворююча операція при нерухомій матриці (рис. 5). По завершенні формування пуансон і матриця опускаються в гартувальну ванну, і відбувається гартування, при цьому зусилля затиску, що передається пуансоном і матрицею на виріб, не дає розвиватися викривленням. По закінченню гартування пуансон, готова деталь та матриця піднімаються з гартувальної ванни. Вивантаження готової деталі проводиться маніпулятором вивантаження.

Для низького відпускання загартованих дисків доцільно застосовувати електричні печі, серед яких найбільша перевага характерна для печі з викатним подом. Така піч зручна для завантаження зібраних у стопку дисків, а також забезпечує точне регулювання та стабільність температур по робочому об'ємі печі. Однією з таких є піч опору з викатним подом фірми «Бортек» (м. Київ). Електропіч СДО-10.13.10/4,5 И1 [10] призначена для проведення різних видів низькотемпературної обробки різних матеріалів в стаціонарних умовах. Для зменшення градієнта температури за обсягом камери печі, під склепінням печі встановлений вентилятор, що забезпечує циркуляцію повітря у вертикальній площині.



Рисунок 5 – Загальний вигляд гартувального штампа для виробництва увігнуто-опуклих сферичних дисків

Джерело: розроблено авторами з використанням [9]

Після термічної обробки деталі робочих органів перед фарбуванням мають пройти очищення поверхні. Найбільш доцільним є проведення очищення у дробеструминній камері, оскільки використання обробки у піскоструминній камері викликає підвищене пиловиділення та погіршення умов праці на виробничій дільниці.

Обов'язковим елементом виробничої дільниці виробництва дискових робочих органів ґрунтообробної техніки є контрольна дільниця, на якій передбачається:

- 1) контроль твердості дисків з використанням твердоміра по Роквеллу;
- 2) контроль відхилення форми диска в результаті короблення (биття) з використанням мікрометричних вимірювальних стійок;
- 3) випробування дисків на пружність при згинанні з використанням гідравлічного преса зусиллям 10...20 тс та відповідних пристосувань.

Висновки.

1. Вивчено ринок дискових робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, технологічні процеси виготовлення яких доцільно вдосконалити.

2. Проведено теоретичне та експериментальне дослідження будови, структури та властивостей матеріалу зразків сферичних дисків імпортової сільськогосподарської техніки. Обґрунтовано вибір бористої сталі марки 30MnB5 для їх виготовлення.

3. Розроблено вдосконалений технологічний процес виготовлення сферичних дисків ґрунтообробної техніки. Рекомендовано їх формоутворення гарячим штампуванням у холодних штампах та інтенсивним гартуванням у водяній ванні.

4. Проведено проектну розробку дільниці виробництва дискових робочих органів ґрунтообробної та посівної техніки.

Список літератури

1. Петренко І. Дискові ґрунтообробні знаряддя. *Агробізнес Сьогодні*. 2013. 29 квітня. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/970-diskovi-gruntoobrobni-znaryaddya.html> (дата звернення: 5.11.2020)
2. Discs for harrows ploughs and seeders. *OFAS*. URL: <http://www.ofas.it/en/tillage-parts/discs-for-harrows-ploughs-and-seeders.html> (дата звернення: 5.11.2020)
3. 30MnB5. Boron alloyed quenched and tempered steel. Salzgitter Flachstahl. URL: https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/footage/MEDIA/gesellschaften/szfg/informationenmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/30mnb5.pdf (дата звернення: 5.11.2020)
4. Joutsenvaara J., Vierelä R. Future Materials in Agricultural Construction: Technical report. *Kemi-Tornio University of Applied Sciences*. Serie B. Reports 14/2013. URL: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/68462/joutsenvaara_vierela_B_14_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y (дата звернення: 5.11.2020)
5. Karbasian H., Tekkaya A.E. A review on hot stamping. *Journal of Materials Processing Technology*. 2010. №210. pp. 2103–2118.
6. Juna H.J., Kanga J.S., Seob D.H., Kang K.B., Park C.G. Effects of deformation and boron on microstructure and continuous cooling transformation in low carbon HSLA steels. *Materials Science and Engineering*. 2006. A 422. pp. 157–162.
7. Lee J.B., Kang N., Park J.T., Ahn S.T., Park A.D., etc. Kinetics of carbide formation for quenching and tempering steels during high-frequency induction heat treatment. *Materials Chemistry and Physics*. 2011. Vol. 129. P. 365-370.
8. The influence of austenitizing temperature on prior austenite grain size and resistance to abrasion wear of selected low-alloy boron steel. K. Pawlak, B. Białobrzeska, Ł. Konat. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. V. 16, I. 4. P. 913–926. URL: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.07.003> (дата звернення: 5.11.2020)
9. Пiч електрична конвейерна ТермоМастер®-КО-10.40.1/960. ПрАТ Інститут Керамічного Машинобудування «Кераммаш». URL: <http://кераммаш.com.ua/ua/pdfs/reflist2020-kerammash-ua.pdf> (дата звернення: 5.11.2020)

10. Електропід з викотним подом СДО-10.13.10/4,5 І1 та вентилятором. URL: <http://bortek.ua/ua/promyshlennye-ehlektropechi/pechi-vykatnym-podom-600/sdo-10-13-10-450> (дата звернення: 5.11.2020)

References

- Petrenko, I. (2013). Dy`skovi g`runtoobrobni znaryaddya [Disk tillage tools]. *Agrobiznes S`ogodni–Agribusiness Today*. 29 kvitnya. Retrieved from <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/970-diskovi-gruntoobrobni-znaryaddya.html> [in Ukrainian].
- Discs for harrows ploughs and seeders. *OFAS*. Retrieved from <http://www.ofas.it/en/tillage-parts/discs-for-harrows-ploughs-and-seeders.html> [in English].
- 30MnB5. Boron alloyed quenched and tempered steel. *Salzgitter Flachstahl*. Retrieved from https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/footage/MEDIA/gesellschaften/szfg/informationsmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/30mnb5.pdf [in English].
- Joutsenvaara J., Vierelä R. (2013) Future Materials in Agricultural Construction: Technical report. *Kemi-Tornio University of Applied Sciences*. Serie B. Reports 14/2013. Retrieved from https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/68462/joutsenvaara_vierela_B_14_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y [in English].
- Karbasian, H. & Tekkaya, A.E. (2010). A review on hot stamping. *Journal of Materials Processing Technology*. №210. pp. 2103–2118 [in English].
- Juna, H.J., Kanga, J.S., Seob, D.H., Kangb, K.B. & Park, C.G. (2006). Effects of deformation and boron on microstructure and continuous cooling transformation in low carbon HSLA steels. *Materials Science and Engineering*. A 422. pp. 157–162 [in English].
- Lee, J.B., Kang, N., Park, J.T., Ahn, S.T., Park, A.D., etc. (2011). Kinetics of carbide formation for quenching and tempering steels during high-frequency induction heat treatment. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 129, 365-370 [in English].
- Pawlak, K., Białobrzaska, B. & Konat, Ł. (2016). The influence of austenitizing temperature on prior austenite grain size and resistance to abrasion wear of selected low-alloy boron steel. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 16, I. 4, 913–926. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.07.003> [in English].
- Pich elektry`chna konvejerna TermoMaster@-KO-10.40.1/960. PrAT Y`nstytut Keramichnogo Mashynobuduvannya «Kerammash» [Electric conveyor furnace TermoMaster@-KO-10.40.1/960. PJSC Institute of Ceramic Mechanical Engineering "Kerammash"]. Retrieved from <http://kerammash.com.ua/ua/pdfs/reflist2020-kerammash-ua.pdf> [in Ukrainian]
- Elektropich z vy`kotny`m podom SDO-10.13.10/4,5 Y`1 ta venty`lyatorom [Electric furnace with a pull-out hearth SDO-10.13.10 / 4,5 I1 and a fan]. Retrieved from <http://bortek.ua/ua/promyshlennye-ehlektropechi/pechi-vykatnym-podom-600/sdo-10-13-10-450> [in Ukrainian]

Volodymyr Kropivny, Prof., PhD tech. sci., **Mykola Sviren**, Prof., DSci., **Olexandr Kuzyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Amosov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Mykola Kozlovsky, engineer

PE "Astarta Group", Kropyvnytskyi, Ukraine

Technological Features of the Manufacture of Disk Working Bodies of Tillage and Seeding Machines

The purpose of this study is to improve the technology of manufacturing spherical disk working bodies of tillage machines to increase their wear resistance and strength.

The world's leading manufacturers achieve high wear resistance and strength of discs made of boron-containing steels both in their chemical composition and the choice of rational heat treatment technology.

Experimental studies of 30MnB5 steel parts revealed that heating for 15 minutes to a temperature of 850°C and quenching in water was sufficient to achieve maximum hardness values. To prevent hardness reduction and to ensure the necessary elasticity and viscosity of the discs, it is recommended to temper at a temperature of 180°C and combine with heat before painting with powder paint. The application of cutting blanks with cutting of depressions along the outer contour of the disk and internal holes on the laser machine, as well as the formation of the finished shape of parts in the process of hot stamping and subsequent heat treatment in quenching dies.

1. The market of disk working bodies of tillage and sowing machines is studied, technological processes of manufacturing of which it is expedient to improve.

2. Theoretical and experimental study of the structure, structure and material properties of samples of spherical disks of imported agricultural machinery. The choice of 30MnB5 pine steel for their production is substantiated.

3. The improved technological process of manufacturing spherical disks is developed. It is recommended to form them by hot stamping in cold dies and intensive hardening in a water bath.

4. The project development of the section of production of disk working bodies of tillage and sowing equipment is carried out.

spherical disk, wear resistance, strength, boron-containing steel, hardening, tempering

Одержано (Received) 29.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 05.11.2020

Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020

УДК 621.81

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.151-158>

Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, **В.О. Дубовик**, доц., канд. техн. наук, **Н.А. Невдаха**, **Ф.Й. Златопольський**, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: uanevdakha@ukr.net

До розрахунку зубців прямозубих циліндричних передач на згин

В роботі аналізуються розрахункові схеми циліндричної прямозубої передачі на згин зубців. Розглядається найбільш поширена розрахункова схема злому зубця, де небезпечний переріз злому зуба відбувається у основі ножки вище кола діаметра западини зубців. На практиці реальний же злом зубця лежить нижче діаметра западини зубців і має опуклу форму перерізу. Для більш точного розрахунку зубців на згин досліджували коефіцієнт форми зубців. В результаті встановлено, що коефіцієнт форми зуба зменшується зі збільшенням кількості зубців.

зубчасті передачі, зубець, злом, небезпечний переріз, напруження, згин, навантаження, зусилля

Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, **В.А. Дубовик**, доц., канд. техн. наук, **Н.А. Невдаха**, **Ф.И. Златопольский**, проф., канд. техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

К расчету зубьев прямозубых цилиндрических передач на изгиб

В работе анализируются расчетные схемы цилиндрической прямозубой передачи на изгиб зубцов. Рассматривается наиболее распространенная расчетная схема излома зубцов, где опасное сечение излома зубьев происходит в основе ножки выше круга диаметра впадины зубцов. На практике реальный же излом зубьев лежит ниже диаметра впадины зубьев и имеет выпуклую форму сечения. Для более точного расчета зубьев на изгиб исследовали коэффициент формы зубьев. В результате установлено, что коэффициент формы зуба уменьшается с увеличением количества зубьев.

зубчастые передачи, зуб, злом, опасное сечение, напряжения, изгиб, нагрузки, усилия