



В. І. АЛІМОВ,
доктор техн. наук
(ДонНТУ)



А. П. ШТИХНО,
канд. техн. наук
(ДонНТУ)



О. І. ШЕВЕЛЄВ,
доктор техн. наук
(ТОВ «Донсплав»)

УДК 621.78: 669.1

Підвищення експлуатаційних властивостей ланок ланцюгів гірничошахтних конвеєрів

Розглянуто вплив термічної обробки зварних з'єднань ланок гірничошахтних конвеєрів зі сталі 23Г2А з використанням різних видів нагрівання на їх структуру і властивості. Показано, що нагрівання ланок з використанням висококонцентрованих джерел, не знижуючи міцність зварного з'єднання сприяє зменшенню знеуглецьованого шару на поверхні виробів і отриманню рівномірної структури по всьому перетину ланок.

Ключові слова: ланцюг, зварні з'єднання, термічна обробка, структура, властивості.

Контактна інформація: shtixno@mail.ru

Для транспортування вугілля на шахтах Донбасу та в інших регіонах нашої країни гостро стоять проблеми функціонування гірничошахтного обладнання, в основі якого конвеєрні лінії. Це пов'язано зі специфічними умовами його експлуатації. Основним елементом конвеєрів, що сприяє порушенню функціонування комплексу, є надійність тягового ланцюга. Під час експлуатації ланцюга внаслідок інтенсивного лінійного спрацювання його ланок у шарнірах і збільшення кроку відбувається перехід ланок на великі початкові окружності тягових зірочок, що зумовлює зростання навантаження в ланцюговому контурі і підвищує спрацювання. Згодом крок ланок зростає до деякого граничного значення, при якому ланцюг зіскакує із зірочки, підвищується ймовірність пориву з'єднувальних ланок. Гранично допустиме збільшення кроку ланцюга калібру 18×64 мм становить 1 – 6 %. Втрата працездатності тягового органу або відмова його функціонування – наслідок параметричної відмови [1]. Головна причина, що спричиняє граничний стан, – порушення міцності, яке виявляється у вигляді деформації, спра-

цювання та інших граничних станів (корозійних пошкоджень, функціональних порушень приєднувальних до ланцюгів деталей тощо).

Виходячи з умов експлуатації, до ланцюгів ставляться такі вимоги: міцність (статистична, циклічна, ударна); жорсткість проти деформації (поздовжньої та поперечної); зносостійкість (шарнірів, бокових граней та виступів); антикорозійність.

Особливе значення для витривалості ланок має структура і напружений стан приповерхневих шарів ланок. Оскільки технологія виготовлення круглоланкових ланцюгів передбачає порізку прокату діаметром 18 мм, гнуття, контактнo-стикове зварювання і термічну обробку, було встановлено, що регулюванням параметрів термічної обробки є можливе формування оптимальної структури і властивостей, у тому числі приповерхневих шарів для підвищення їх функціонування.

Понад 60 років тому почалося наукове опрацювання вдосконалення технології виготовлення деталей гірничошахтного обладнання для забезпечення високих вимог під час його експлуатації й транспортування вугілля в ла-

вах [1–9]. Це відображено у працях науковців Московського гірничого інституту, які застосували метод визначення натягування тягових ланцюгів скребкових конвеєрів за допомогою електричних тягових давачів, теоретично та експериментально дослідили динамічні процеси в тягових ланцюгах з розрахунку їх властивостей [2, 6, 7]. Значних результатів досягнуто у Донецькому політехнічному інституті [4, 5, 8–12].

Удосконаленню конструкцій розбірних та круглоланкових ланцюгів скребкових конвеєрів присвячено багато досліджень у 1954 – 1963 рр. Було застосовано методи дослідження міцності ланцюгів на пульсаторних машинах, параметри ланцюгів методом пружності на плоских та об'ємних моделях тощо [1, 2].

Принцип дії скребкових конвеєрів – переміщення наспинних вантажів волочінням вздовж нерухомого вантажонесучого органу за допомогою тягових ланцюгів, які надають руху приводній станції, та штовхання скребками, що закріплені до тягового ланцюга [3].

Вивчено чинники, які впливають на безвідмовну роботу механізованого комплексу забійного конвеєра [4, 5, 10]. Виявлено, що на простій припадає 55 % лави, у тому числі на усунення відмов тягового ланцюга – 53 % трудомісткості.

Досліджено модернізацію ланцюгів і порівняння їх із серійними, які дали позитивний результат втомної довговічності та сприятливих значень вигинальних моментів в опорних перетинах ланок модернізованих ланцюгів. Отже, встановили, що внаслідок зменшення швидкості лінійного спрацювання ланок у шарнірах у період прироблення у модернізованих ланцюгах отримали на 25 % підвищення технічного ресурсу для ланцюгів з підвищеними ділянками контактування в шарнірах [6].

Є два варіанти виготовлення ланцюгів: зварний (такий процес використовується на підприємстві ТОВ «Концепт») і штампований. В обох варіантах готові вироби піддають кінцевій термічній обробці, що сприяє отриманню заданих властивостей і структури [10–14].

Поліпшення експлуатаційних параметрів тягових ланцюгів має важливе значення. Круглоланкові ланцюги – невід'ємна частина скребкових

конвеєрів – під час пересування вугілля мають відповідати нормативним вимогам. Тому метою дослідження є вивчення впливу сучасних методів термічної обробки на структуру і властивості зварних з'єднань сталі 23Г2А для ланцюгів шахтних конвеєрів для підвищення їх експлуатаційної стійкості.

Дослідження проводили на зразках ланцюгів (виготовлені з конструкційної сталі 23Г2А, розміри 18×64 мм, клас пружності С), відібраних на підприємстві ТОВ «Концепт» після гнуття, контактнo-стикового зварювання та об'ємної термічної обробки. Ланки ланцюгів мають відповідати таким вимогам:

| | |
|--|------|
| Пробне навантаження, кН | 330 |
| Відносне подовження при пробному навантаженні, % | ≤1,6 |
| Руйнівне навантаження, кН | ≥410 |
| Відносне подовження при руйнівному навантаженні, % | ≤14 |

Хімічний аналіз досліджуваних зразків виконали на квантометрі ARL – 3000 у лабораторії ПАТ «Філія «Донецький металургійний завод». Результати хімічного аналізу сталі 23Г2А (масова доля, %) такі:

| C | Mn | Si | Cr | S | P | Ni | Cu | Al | Ti | As |
|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|
| 0,22 | 1,37 | 0,19 | 0,23 | 0,014 | 0,022 | 0,01 | 0,03 | 0,035 | 0,01 | 0,006 |

Для визначення структури і властивостей відібрали зразки ланок після зварювання і об'ємної термічної обробки та після обробки під час нагрівання

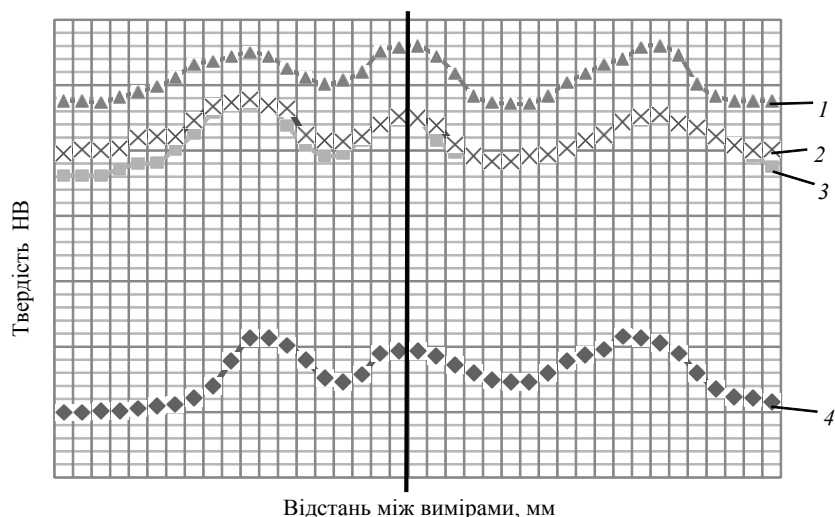


Рис. 1. Розподіл твердості по поверхні ланок зі сталі 23Г2А від зони зварювання: 1 – після гартування під час нагрівання СПЧ; 2 – після гартування під час нагрівання СПЧ від температури 980–1000 °С та відпуску при 360–380 °С; 3 – після гартування під час нагрівання в печі СШО від температури 860–880 °С та відпуску при 360–380 °С (за технологією підприємства); 4 – після зварювання.

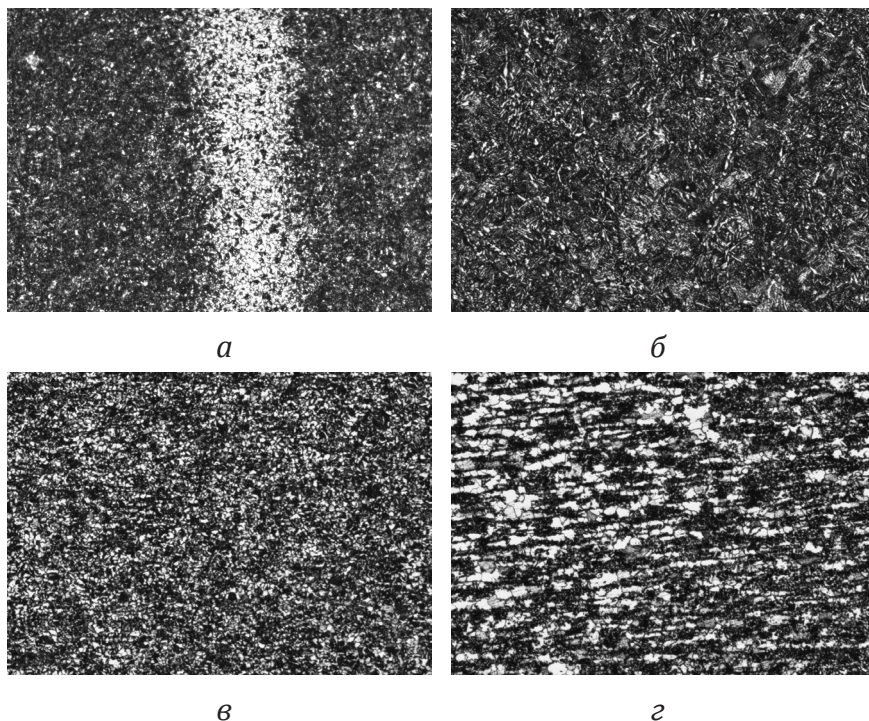


Рис. 2. Мікроструктура зразків зі сталі 23Г2А після зварювання ($\times 100$) у зонах: *a* – зварного шва; *б* – перегрівання; *в* – перекристалізації; *г* – неповної перекристалізації.

струмами промислової частоти (СПЧ). Режими виготовлення ланцюгів, які використовували для дослідження:

A – після зварювання без термічної обробки;

Б – гартування з нагріванням у печі шахтного типу СШО-10.10/10 від температури 860–880 °С + відпуск при температурі 360–380 °С (за технологією підприємства);

В – гартування з нагріванням СПЧ від температури 980–1000 °С;

Г – гартування з нагріванням СПЧ від температури 980–1000 °С + відпуск при температурі 360–380 °С.

Зразки відрізали на фрезерному верстаті та виготовляли мікрошліфи для подальшого вивчення розподілу мікроструктури в зоні зварних з'єднань, травлення виконували у 4 %-му розчині HNO_3 у спирті.

Вивчали мікроструктуру у лабораторії ПАТ «Донецький металопрокатний завод» на мікроскопі AXIOVERT 200M MAT при збільшеннях $\times 100$ та $\times 500$. Отримані відбитки обробляли у графічному редакторі Adobe Photoshop. Далі досліджували товщину зони термічного впливу та визначали номер зерна за ГОСТ 5639. Отримані дані обробляли на електрон-

но-обчислювальній машині в програмі Video Test Metal. Механічні випробування виконували на підприємстві ТОВ «Концепт» на розривній машині ИР-50. Для цього відібрали чотири ланцюги по 12 ланок, які з'єднували контактним зварюванням, до та після об'ємної термічної обробки. Макроструктуру злому ланок після випробування фіксували на фотоапараті SONY DSC-T 300. Твердість вимірювали в ДонНТУ за допомогою твердоміра Роквелла ТК-2М безпосередньо на ланках після контактним зварюванням, об'ємного гартування та середнього відпуску, а також після гартування СПЧ з подальшим середнім відпуском, заздалегідь знявши з поверхні шар завтовшки 2 мм. Твердість вимірювали по всій поверхні ланок від зони зварювання.

Результати вимірювання твердості обробляли на ЕОМ за допомогою програми Microsoft Office Excel

2007, криві яких наведено на рис. 1. Бачимо, що при всіх режимах термічної обробки у зоні зварювання і термічного впливу спостерігається однакова закономірність зміни твердості. Згідно з цим всі зони зварювання поділяються так: неповного розплавлення, перегрівання, нормалізації та неповної перекристалізації.

Зона неповного розплавлення вирізняється яскраво вираженою крупнозернистістю з відманшеттовою структурою фериту. В результаті формується зона сплавлення, яка характеризується неоднорідністю, що і є причиною зниження твердості.

Зона перегрівання характеризується крупним зерном та відманшеттовою структурою феритно-перлітної структури. Залежно від збільшення відстані від зони сплавлення розмір зерна зменшується (з № 6 до № 8 за ГОСТ 5639).

Зона нормалізації відповідає температурі нагрівання $\text{Ac}_3 + (30 \dots 50)^\circ\text{C}$. Для неї характерна дрібнозерниста структура внаслідок перекристалізації початкового зерна з № 10 – 11.

Зона неповної перекристалізації з температурою нагрівання в міжкритичному інтервалі $\text{Ac}_3 - \text{Ac}_1$ характеризується різнозернистістю феритно-перлітної структури (зерна № 9 – 12). Поряд зі старими

зернами фериту спостерігаються колонії нових найдрібніших зерен з № 11 – 12.

Отримані результати твердості корегують з мікроструктурами в зоні термічного впливу. На рис. 2 наведено мікроструктуру зразків зі сталі 23Г2А безпосередньо після зварювання у різних зонах термічного впливу. З наведеної мікроструктури можна бачити усі зміни структур залежно від температури нагрівання зон, а також зменшення кількості вуглецю у зоні сплавлення, що характеризується присутністю феритної складової.

На рис. 3 наведено мікроструктуру після зварювання і термічної обробки, виконаної на підприємстві ТОВ «Концепт», а саме гартування – під час нагрівання у шахтних печах і середнього відпуску. Проаналізувавши мікроструктуру, бачимо, що зони термічного впливу виявляються також і після термічної обробки, але зерно подрібнюється. Це пояснюється додатковим нагріванням сталі до аустенітного стану з подальшим швидким охолодженням. Середній відпуск формує в сталі структуру троститу.

З аналізу дослідження ланок, які гартувалися з нагріванням СПЧ за значеннями твердості та мікроструктури, випливає, що властивості експериментальних зразків відповідають даним, отриманим після гартування у шахтній печі на підприємстві ТОВ «Концепт». За допомогою програми Video Test Metal на підприємстві «ДМПЗ» в ЦЗЛ було визначено знеуглецьований шар у поверхневому шарі ланок (рис. 4) та розмір зерна.

Знеуглецьований шар може спричинити розтріскування по поверхні виробів і знизити поріг утомленості, їх функціонування внаслідок розвитку втомлених тріщин, що зароджуються у концентраторах напружень. Середня товщина знеуглецьованого шару після

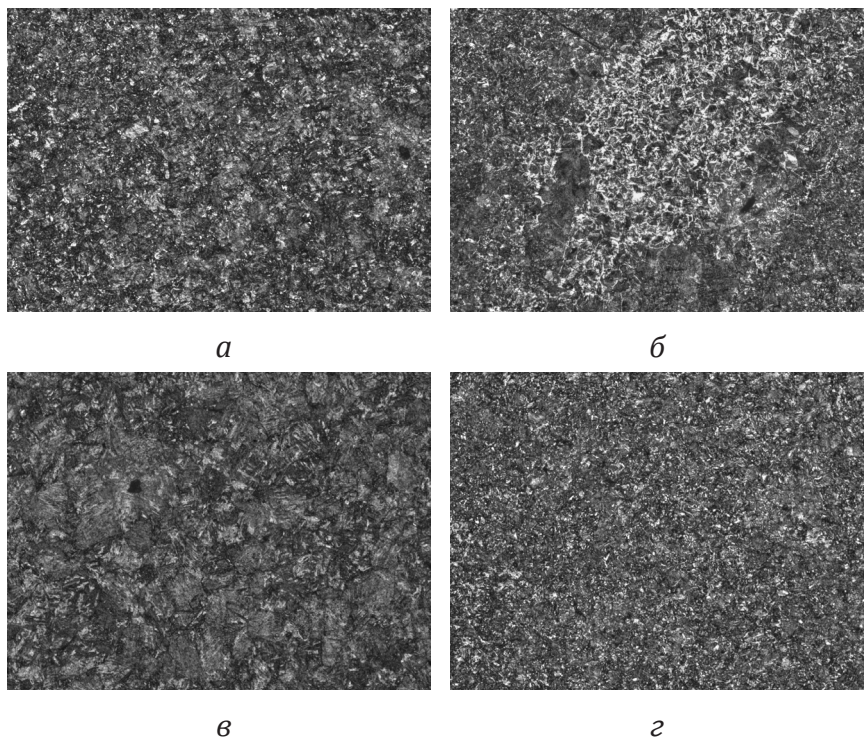


Рис. 3. Мікроструктура зразків із сталі 23Г2А після термічної обробки, $\times 100$: а – ділянка сплавлення; б – перегрівання біля зони термічного впливу; в – після нормалізації; г – основна структура металу.

гартування у шахтній печі становить 0,74 мм, а після обробки з нагріванням СПЧ – 0,24 мм. За результатами вимірювання товщини знеуглецьованого шару на ланцюзі після гартування з нагріванням СПЧ бачимо її зменшення на 68 % на відміну від гартування у шахтній печі, що свідчить про зменшення кількості окалини, яка утворюється під час газової корозії. Розмір зерна таких ланок, згідно з порівнянням зі шкалами, визначили на рівні зерна № 8.

У результаті випробувань ланок на розтягування встановлено, що під час розриву ланцюга після зварювання без термічної обробки лан-

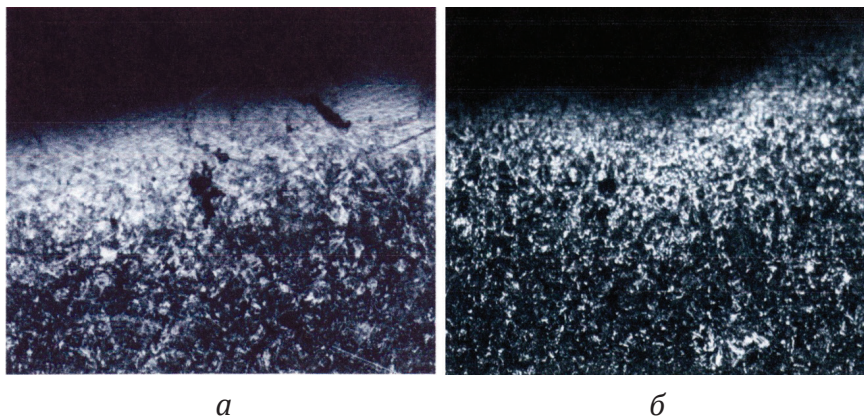


Рис. 4. Мікроструктура знеуглецьованого шару на зразках із сталі 23Г2А після гартування з нагріванням у шахтній печі (а) і СПЧ (б), $\times 50$.

ШАХТНЫЙ ТРАНСПОРТ И ПОДЪЕМ

| Умовне позначення режиму | Режим ТО | Розривне зусилля, кН | Подовження, % | Твердість НВ |
|--------------------------|---|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| А | Зварювання (без термічної обробки) | <u>320-340</u> 330 | <u>27-29</u> 28 | <u>150-208</u> 180 |
| Б | Зварювання + гартування + відпуск | <u>390-420</u> 410 | <u>13-15</u> 14 | <u>331-388</u> 357 |
| Г | Зварювання + гартування з нагріванням СПЧ + відпуск | <u>390-420</u> 410 | <u>10-12</u> 11 | <u>332-389</u> 360 |

Примітка. Чисельник – min–max, знаменник – середнє значення.

ка зруйнувалася при навантаженні 320 – 350 кН і витягнулася на 29 %, що свідчить про підвищену пластичність. Але під час розриву вже термічно обробленого ланцюга ланка зруйнувалася тільки при навантаженні 410–420 кН та її відносне подовження становить 14 %, що вказує на зниження пластичності, в'язкості, підвищення твердості, але відповідає всім вимогам під час виготовлення ланцюгів для гірничошахтного устаткування. Основні властивості ланок після різних режимів виготовлення наведено у таблиці.

За результатами аналізу властивостей ланок, отриманих після різних режимів виготовлення, можна зробити висновок, що під час введення нового обладнання для обробки з нагріванням СПЧ спостерігається зменшення подовження при дотриманні міцнісних характеристик.

Висновки. Раціональний режим контактнo-стикового зварювання і режим термічної обробки ланок ланцюгів включає нагрівання струмами промислової частоти під гартування, до того ж якість виробів підвищується внаслідок зменшення відносного подовження і збереження міцності.

Заміну печі шахтного типу СШЗ-10.10/10 на пристрій струмів промислової частоти виправдано і можна використати її під час виготовлення ланцюгів із сталі 23Г2А, що забезпечить скорочення терміну їх виготовлення та сприятиме зменшенню зневуглекцюваного шару, і, як наслідок, збільшенню працездатності ланцюгів та всього комплексу гірничошахтного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. НИР в области транспортирования угля в лавах. – Режим доступа: http://www.coal.in.ua/vosstanovlenie_donbassa/transportirovanie_uglja_lavah711-nauchno-issledovatel'skie-raboty-v-oblasti.html.
2. Thomas Gareth John. Conveyor pan section /John Gareth Thomas// Met/ Scient. Rev. Met. – 1992. – № 10. – P. 347–354.
3. Steinkuhl Bernd. Rinneschub fur kettenkratfordert insh-sondere fur den Bergbaueinsaftr / Bernd Steinkuhl, Deflef Hahn // Becorif indust rie technie. – 1990. – № 11. – P. 248–352.

4. Алимов В. И. Повышение качества соединительных звеньев конвейера СП-63 / В. И. Алимов, И. А. Тертышный, Н. П. Шаповалова // Уголь Украины. – 1982. – № 5. – С. 33–34.
5. Алимов В. И. Повышение качества соединительных звеньев конвейера СП-63 / В. И. Алимов, И. А. Передерий, Н. П. Шаповалова // Уголь Украины. – 1983. – № 4. – С. 40–41.
6. Edmonson W. L. Chain and flight conveyor / W. L. Edmonson, Joy // Technologies Inc. – 1992. – № 9. – P. 133–135.
7. Ketterer J. Ketten krafzforderer mit Lincarmotorantrieb / J. Ketterer // Ingenieurburo fur Entwicklung und Planung. – 1992. – № 3. – P. 87–89.
8. Алимов В. И. Упрочнение деталей транспортного горношахтного оборудования с использованием тепла штамповочного нагрева / В. И. Алимов, С. В. Петрущак, И. Э. Плотникова // Черная металлургия. – 1988. – № 11. – С. 38–39.
9. Алимов В. И. Упрочнение со штамповочного нагрева соединительных звеньев для угольных конвейеров / В. И. Алимов, В. Д. Коротченко, С. В. Петрущак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1989. – № 2. – С. 19–20.
10. Пат. 11898 Україна, МПК В21С 1/18, А61U 23/00. Спосіб виготовлення фасонних з'єднувальних ланок тягових органів / В. І. Алімов, М. М. Піддубний, А. П. Штихно, Т. О. Щеголева; заявники та патентовласники Алімов В. І., Піддубний М. М., Штихно А. П., Щеголева Т. О. (Україна). – № 200506592; заявл. 04.07.05; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
11. Алимов В. И. Упрочнение сталей для деталей тяговых органов ГШО с нагревом под ковку и штамповку / В. И. Алимов, С. В. Петрущак, О. В. Билых // Стародубовские чтения. – 2004. – С. 343–347.
12. Алимов В. И. Совершенствование упрочняющей деформационно-термической обработки комплектующих деталей оборудования для транспортирования материалов / В. И. Алимов, С. В. Петрущак // Теория и технология процессов пластической деформации: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Москва, 26–27 окт. 2004 г. – М., 2004. – С. 292–294.
13. Алимов В. И. О перспективах использования низкоуглеродистых легированных сталей для элементов тяговых органов конвейеров / В. И. Алимов, Т. А. Щеголева // Вестник ДонНАСА. – 2005. – № 4 (52) – С. 135–138.
14. Пат. 72135 Україна, МПК F16G 15/00. Спосіб виготовлення тягових ланцюгів із зварних ланок для конвеєрів / В. І. Алімов, А. П. Штихно, І. В. Пильова; заявники та патентовласники Алімов В. І., Штихно А. П., Пильова І. В. (Україна). – № 201200512; заявл. 17.01.12; опубл. 10.08.12. – Бюл. № 15.