

## МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕТАЛООБРОБКА

УДК 621.658.012.531

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142534

© Самотугін С.С.<sup>1</sup>, Христенко О.А.<sup>2</sup>, Иванов В.И.<sup>3</sup>

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЗОНЫ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫХ РЕЗЦОВ С ПЛАСТИНАМИ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

*В данной работе представлено исследование структуры, твердости и параметров кристаллического строения в модифицированной зоне резьбонарезных резцов с напаянными твердосплавными пластинами из сплава ВК8 и Т5К10. Показан характер плавления межфазных границ, металлографические и рентгеноструктурные исследования при высококонцентрированном нагреве плазменной струей и высокоскоростном охлаждении резьбонарезных резцов. Анализ приведенных факторов показывает перспективность применения метода поверхностного упрочнения для повышения работоспособности резьбонарезного инструмента с твердосплавными пластинами. Вместе с тем, из-за сложной профильной рабочей поверхности применение любых методов упрочнения затруднено.*

**Ключевые слова:** *резец, резьбонарезание, плазма, упрочнение, твердый сплав.*

**Самотугін С.С., Христенко О.А., Иванов В.И. Структура і властивості модифікованої зони при плазмовій обробці різьбонарізних різців з пластинами із твердих сплавів.** У даній роботі представлено дослідження структури, твердості і параметрів кристалічної будови в модифікованій зоні різьбонарізних різців з напаяними твердосплавними пластинами зі сплаву ВК8 і Т5К10. Показаний характер плавлення міжфазних кордонів, металографічні та рентгеноструктурні дослідження при висококонцентрованому нагріванні плазмовим струменем і високошвидкісному охолодженні різьбонарізних різців. Аналіз наведених факторів показує перспективність застосування методу поверхневого зміцнення для підвищення працездатності різьбонарізного інструменту з твердосплавними пластинами. Разом з тим, через складність профільної робочої поверхні застосування будь-яких методів зміцнення утруднено. В таких умовах в різних ділянках модифікованої зони можуть проходити фазові і структурні перетворення, що відрізняються між собою. Найбільш високі експлуатаційні властивості і дисперсна структура реалізуються при плазмовій обробці твердих сплавів без оплавлення, але з фазовими перетвореннями в карбідах і зв'язці. Оптимальні режими плазмової обробки забезпечують реалізацію зазначеного варіанта зміцнення в обсягах твердого сплаву, прилеглих до різьбоніжних кромок. Основним процесом, що визначає характер фазових і структурних перетворень в твердих сплавах при плазмовому модифікуванні, є контактне плавлення карбідних зерен, воно залежить від двох чинників – змочуваності карбідів рідкою сполучною фазою і розчинності карбідів в зв'язці, що призводить до подрібнення подібних (первинних) карбідних зерен, насичення зв'язки вольфрамом і вуглецем і, як наслідок, дисперсійному зміцненню зв'язки за рахунок виділення вторинних дисперсних карбідів. Поряд з подрібненням вихідних карбідних зерен, відбувається розпад пересиченого твердого розчину W і С в Со з виділенням дисперсних вторинних карбідів. Оплавлені зерна первинних

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> мл. науч. сотрудник, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, [khrystenko.olga@gmail.com](mailto:khrystenko.olga@gmail.com)

<sup>3</sup> кан. тех. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

карбідів мають неправильну форму і "пухкі" краю, а зерна виділилися в результаті твердіння вторинних карбідів – переважно округлої форми.

**Ключові слова:** різець, різьбонарізання, плазма, зміцнення, твердий сплав.

**S.S. Samotygin, O.A. Khrystenko, V.I. Ivanov. Structure and properties of the modified processing zone of plasma treatment of threaded cutters with solid alloys plates.** This paper presents a study of the structure, hardness, and the crystal structure parameters in a modified zone of thread-cutting cutters with soldered carbide inserts of the VK8 and T5K10 alloys. The character of the interphase boundaries melting, metallographic and X-ray diffraction studies on plasma jet high-concentration heating and high-speed cooling of thread-cutting cutters has been shown. The analysis of these factors shows good promise in applying the surface hardening method in order to improve the performance of a thread-cutting tool with carbide-tipped plates. At the same time, due to the complex profile working surface, the use of any hardening methods presents difficulties. Under these conditions, phase and structural transformations, that differ from each other, can take place in different parts of the modified zone. The highest performance properties and dispersed structure are obtained on plasma treatment of hard alloys without melting, but with phase transformations in carbides and the binder. Optimum modes of plasma treatment ensure that very kind of hardening in hard alloy volumes adjacent to the cutting edges. The main process determining the nature of phase and structural transformations in hard alloys under plasma modification is contact melting of carbide grains; it depending on two factors - the wettability of the carbides with the liquid binding phase and the solubility of the bound carbides which results in the crushing of similar (primary) carbide grains, saturation of the binder with tungsten and carbon and dispersion hardening of the bond resulting from the secondary dispersed carbides separation. Along with the grinding of the initial carbide grains, the supersaturated solid solution W and C in Co decomposes, with the release of dispersed secondary carbides. The melted grains of the primary carbides have an irregular shape and "loose" edges, and the grains of secondary carbides precipitated as a result of the precipitation hardening are mainly rounded.

**Keywords:** cutter, thread cutting, plasma, hardening, hard alloy.

**Постановка проблеми.** Эффективным методом повышения работоспособности металлорежущего инструмента является поверхностное модифицирование при нагреве высококонцентрированной плазменной струей [1]. При этом одним из наиболее сложных объектов для упрочнения является резьбонарезной инструмент, режущую часть которого изготавливают из быстрорежущих сталей или твердых сплавов. Наиболее распространенным типом инструмента являются стержневые профильные резцы [2, 3]. Основные геометрические параметры режущей части профильного резцового резца с нанесенной модифицированной зоной показаны на рис. 1.

При разработке оптимальной технологии поверхностного модифицирования резьбонарезных резцов необходимо учитывать основные особенности нагружения и подготовки таких резцов [2, 3]:

1) у профильного резцового резца в резании и профилировании нарезаемой резьбы участвуют 3 режущие кромки (рис. 1): 1-2 – на лезвии вершины резца, 1-3 – на левом прямолинейном профильном лезвии, 2-4 – на правом прямолинейном профильном лезвии. Все три режущие кромки являются главными. Лезвие вершины резца 1-2, формирующее впадину лезвийного профиля, в процессе резания находится в тяжелых условиях нагружения, и прочность его может оказаться недостаточной;

2) резьбонарезные резцы работают с относительно малыми значениями скорости резания и толщины срезаемого слоя при обильном поливе рабочей зоны струей СОЖ (смазывающая охлаждающая жидкость). В таких условиях на лезвиях выделяется относительно небольшое количество теплоты – температура нагрева лезвий не превышает 400°C. Температурное состояние лезвий слабо влияет на интенсивность их изнашивания и не является лимитирующим фактором при назначении режимов резьбонарезания;

3) основным критерием, определяющим работоспособность резьбонарезных резцов, является износ по задним поверхностям  $h_3$  (рис. 1). Согласно [3], он составляет для черновых

резьбонарезных резцов  $h_3 = 2$  мм, а для чистовых профильных –  $h_3 = 0,3$  мм;

4) профильные резьбонарезные резцы с напаянными твердосплавными пластинами допускают сравнительно небольшое число переточек.

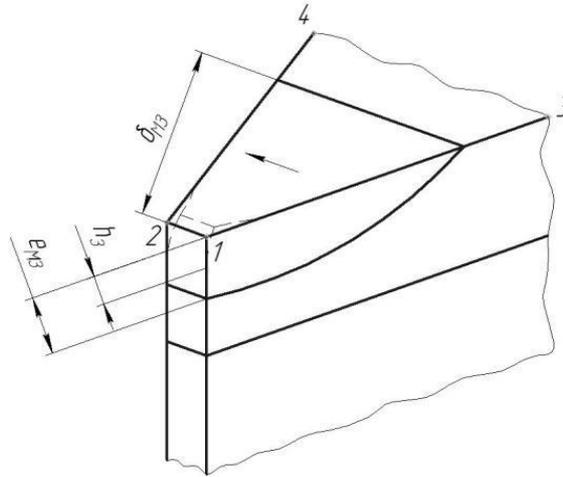


Рис. 1 – Геометрические параметры режущей части профильного резьбового резца с модифицированной зоной:  $e_{m3}$ ,  $d_{m3}$  – толщина и ширина модифицированной зоны, соответственно;  $h_3$  – износ по задней поверхности; 1-2, 2-4 и 1-3 – режущие кромки; стрелкой указано направление плазменной обработки

Учитывая изложенное, а также опыт применения плазменного модифицирования для упрочнения других типов инструмента [4], установлены основные требования к разработке технологии плазменного модифицирования резьбонарезных твердосплавных резцов. Ранее установлено [4], что для достижения наиболее высокой работоспособности лезвийного инструмента его обработка плазменной струей должна выполняться по передней поверхности (рис. 1). При этом ширина модифицированной зоны  $d_{m3}$  должна обеспечивать сохранение всех трех упрочненных режущих кромок (1-2, 1-3 и 2-4) после возможных переточек резца, а толщина модифицированной зоны  $e_{m3}$  в плоскости, перпендикулярной кромке 1-2, должна значительно превышать допустимый износ по задней поверхности  $h_3$  (рис. 1).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Выбор оптимальных значений параметров режима плазменной обработки профильных резьбовых резцов осуществляется на основании моделирования и анализа температурных полей при поверхностном концентрированном нагреве вдоль режущей кромки образца, имеющего форму клина. Предварительными расчетами с использованием рекомендаций [4] установлено, что наиболее высокие значения температуры нагрева и скорости охлаждения достигаются в точках, близких к вершине резца (кромка 1-2) и боковым режущим кромкам 1-3 и 2-4. При удалении от вершины как вдоль передней поверхности, так и в глубину, максимальная температура нагрева снижается. В таких условиях в различных участках модифицированной зоны могут проходить фазовые и структурные превращения, отличающиеся между собой. Ранее установлено [5], что наиболее высокие эксплуатационные свойства и дисперсная структура реализуются при плазменной обработке твердых сплавов без оплавления, но с фазовыми превращениями в карбидах и связке. В качестве оптимальных приняты режимы плазменной обработки твердосплавных резьбовых резцов, обеспечивающие реализацию указанного варианта упрочнения в объемах твердого сплава, прилегающих к режущим кромкам.

**Целью данной работы** является исследование структуры, твердости и параметров кристаллического строения в модифицированной зоне на резьбовых резцах с напаянными твердосплавными пластинами. Исследованы пластины из сплавов ВК8 и Т5К10 после плазменной обработки. На шлифах, выполненных в плоскости, перпендикулярной режущей кромке 1-2 (рис. 1), изучали микроструктуру (оптический микроскоп «Неофот-21»), измеряли твердость по Виккерсу и определяли параметры кристаллического строения – период решетки кобальтовой фазы  $a$ , микронапряжения  $d$  и размер блоков  $D$  (дифрактометр ДРОН - 3,0 - по методикам [5-7]).

**Изложение основного материала.** Микроструктура в отдельных точках модифицированной зоны приведена на рис. 2, твердость и параметры кристаллического строения – в таблице.

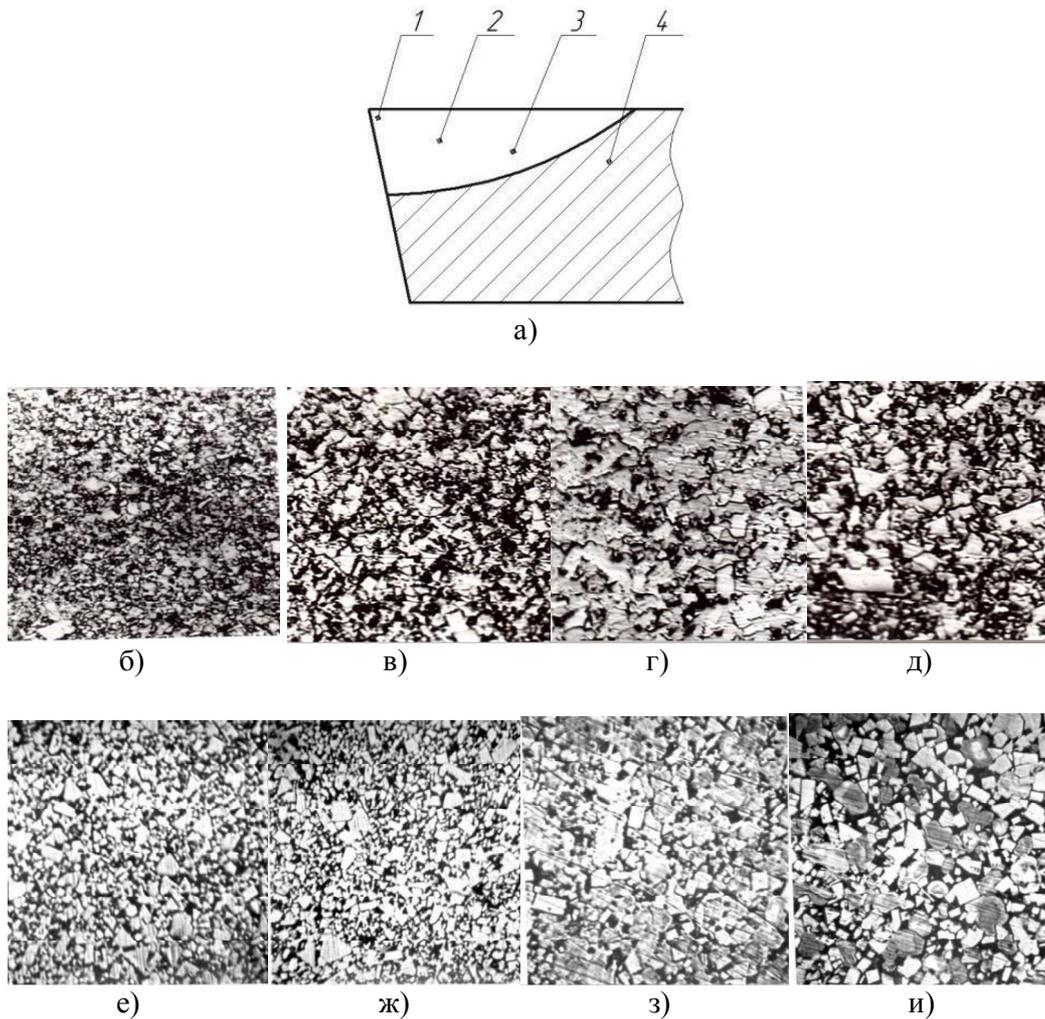


Рис. 2 – Микроструктура отдельных участков модифицированной зоны на пластинках из сплавов ВК8 (б-д) и Т5К10 (з-и): а – резец; б, е – точка 1; в, ж – точка 2; г, з – точка 3; д, и – точка 4

Таблица

Параметры кристаллического строения твердых сплавов в отдельных участках модифицированной зоны

Марка сплава	Точка исследований (рис. 2)	Твердость HV	Период решетки кобальтовой фазы $a \cdot 10^{-10}$ , м	Размер блоков D, $A^0$	Микронапряжения $\sigma$ , МПа	
					В карбидах	В связке
ВК8	1	1590-1620	3,562	14	-185	-15
	2	1520-1545	3,560	24	-180	+45
	3	1485-1505	3,555	47	-160	+210
	4	1410-1430	3,553	78	-155	+415

Продолжение таблицы

Т5К10	1	1660-1700	3,556	21	-90	+30
	2	1580-1605	3,554	31	-110	+45
	3	1510-1535	3,552	54	-115	+175
	4	1430-1470	3,551	72	-125	+525

Исследования показали, что структура вольфрамо-кобальтового сплава ВК8 в исходном состоянии (рис. 2, г) состоит из зерен карбидов вольфрама WC граненной формы (как свободных, так и контактирующих между собой), погруженных в твердый раствор вольфрама и углерода в кобальте. Вольфрамо-титано-кобальтовый сплав Т5К10 в исходном состоянии имеет трехфазную структуру, состоящую из овальных кристаллов сложных карбидов (Ti, W) C, образующихся в результате диффузии и растворения W и C в TiC при спекании, зерен карбида WC граненной формы и связующей кобальтовой фазы (рис. 2, з).

Ранее установлено [5], что наиболее высокие значения твердости сплавов типа ВК и ТК достигаются при плазменной обработке без расплавления связки – при нагреве до температур  $\approx 1300-1500^\circ\text{C}$ . При плазменной обработке резбовых резцов, имеющих форму клина (рис. 1), при оптимальных параметрах режима нагрева такая температура достигается в участках, близких к режущим кромкам (точки 1 – рис. 2). В этих участках образуется наиболее дисперсная структура модифицированной зоны (рис. 2, а, д) и достигается наиболее высокая твердость (табл. – точки 1).

Основным процессом, определяющим структуру и свойства модифицированной зоны, является контактное плавление межфазных границ карбид-связка. Оно зависит от двух факторов – смачиваемости карбидов жидкой связующей фазой и растворимости карбидов в связке.

Сплав ВК8 характеризуется хорошей смачиваемостью компонентов (угол смачивания  $\theta \approx 0^\circ$ ). Контактное плавление межфазных границ способствует разделению плотных групп карбидов на мелкие частицы – монокристаллы. Степень превращения в карбидах неодинакова и зависит от их размеров. Окончательная структура сплава ВК8 при плазменном модифицировании (рис. 2, б) формируется в неравновесных условиях высокоскоростного охлаждения. Наряду с измельчением исходных карбидных зерен, происходит распад пересыщенного твердого раствора W и C в Co с выделением дисперсных вторичных карбидов. Оплавленные зерна первичных карбидов имеют неправильную форму и «рыхлые» края, а зерна выделившихся в результате дисперсионного твердения вторичных карбидов – преимущественно округлую форму (рис. 2, б). По мере удаления от кромок пластины в глубину модифицированной зоны (точки 2 и 3) температура нагрева снижается, степень и полнота контактного плавления первичных карбидов снижается, увеличивается размер зерен (рис. 2, в, г), плавно переходя к исходной структуре (рис. 2, д). Наряду с частично оплавленными зернами сохраняются и неоплавленные зерна граненной формы.

При плазменной обработке сплавов Т5К10 твердость также значительно повышается (табл.). Сплавы системы WC-TiC-Co характеризуются неполной смачиваемостью компонентов ( $\theta > 0^\circ$ ) в условиях контактного плавления [5], что не позволяет в полной мере реализовать дисперсионное упрочнение связки. В структуре модифицированной зоны на сплаве Т5К10 наблюдаются как дисперсные оплавленные первичные карбиды и дисперсные вторичные карбиды, так и сохранившиеся крупные первичные карбиды граненной формы (рис. 2, е), количество которых увеличивается по мере удаления от режущей кромки в глубину модифицированной зоны (рис. 2, ж, з). Повышение твердости сплава Т5К10 после плазменного воздействия (табл.) связано как с измельчением зерен, так и упрочнением связки при насыщении ее вольфрамом и углеродом в результате диффузии и распада пересыщенного твердого раствора (W, Ti) C.

Выводы, сделанные по результатам металлографических исследований, подтвердились результатами рентгенографических исследований. Установлено, что плазменное модифицирование сплавов ВК8 и Т5К10 приводит к значительному увеличению периода решетки кобальта (табл.). Поскольку методика исследований, аналогичная принятой в работе [5], исключала

влияние микронапряжений на период решетки Со-фазы, такое значительное его увеличение логично объяснить только повышением концентрации вольфрама и углерода (в сплаве ВК8), а также титана (в сплаве Т5К10) в кобальтовом твердом растворе замещения-внедрения. Это связано с контактным плавлением межфазных границ карбид-связка. При последующем скоростном охлаждении происходит дисперсионное твердение пересыщенной легирующими элементами связки с выделением ультрадисперсных частиц карбидов [5] (средний размер карбидных зерен у режущей кромки  $d_k \approx 0,01...0,05$  мкм – см. рис. 2, б, е). Происходит измельчение не только микроструктуры, но и параметра субструктуры – размер блоков мозаики  $D$  уменьшается для сплава ВК8 более чем в 5 раз, а для сплава Т5К10 – почти в 3,5 раза (табл.).

Фазовые и структурные превращения при плазменном модифицировании твердых сплавов приводят к изменению напряженного состояния карбидной и связующей фаз. В исходном состоянии карбидная фаза испытывает напряжения сжатия, а кобальтовая – растяжения [5]. Коэффициенты термического расширения компонентов твердых сплавов значительно различаются ( $\alpha_{WC} = 3 \cdot 10^{-6}$  град;  $\alpha_{Co} = 14,2 \cdot 10^{-6}$  град.), что приводит к появлению дополнительных сжимающих напряжений в карбидной фазе при плазменном нагреве сплава ВК8 (табл.). При обработке сплава Т5К10 установлена обратная зависимость, что можно объяснить [5] наличием в структуре кроме карбидов вольфрама WC сложных карбидов (Ti, W)C. Жесткий карбидный каркас в сплаве Т5К10 не позволяет реализовать релаксацию напряжений в полной мере, и напряжения в связке после модифицирования хотя и значительно снижаются, но остаются растягивающими (табл.).

#### Выводы

Эффективным методом повышения эксплуатационных характеристик твердосплавных резбонарезных резцов является плазменное поверхностное модифицирование. Металлографическими и рентгеноструктурными исследованиями установлена возможность образования в модифицированной зоне ультрадисперсной структуры с повышенным уровнем твердости и более благоприятным распределением остаточных напряжений.

Основным процессом, определяющим характер фазовых и структурных превращений в твердых сплавах при плазменном модифицировании, является контактное плавление карбидных зерен, приводящее к измельчению сходных (первичных) карбидных зерен, насыщению связки вольфрамом и углеродом и, как следствие, дисперсионному упрочнению связки за счет выделения вторичных дисперсных карбидов.

#### Список использованных источников:

1. Самогутин С.С. Плазменное модифицирование резбонарезного инструмента / С.С. Самогутин, О.А. Христенко // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2017. – Вип. 34. – С. 105-112. – (Серія : Технічні науки).
2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин. – М. : Высшая школа, 1974. – 400 с.
3. Грановский В.И. Резание металлов / В.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М. : Высшая школа, 1985. – 304 с.
4. Самогутин С.С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С.С. Самогутин, Л.К. Лещинский. – Донецк : Новый мир, 2003. – 338 с.
5. Самогутин С.С. Влияние режимов плазменной обработки на структуру и свойства инструментальных твердых сплавов / С.С. Самогутин, В.И. Лавриненко, Ю.С. Самогутина, Е.В. Кудинова // Сверхтвердые материалы. – 2011. – № 3. – С. 74-84.
6. Рентгенографические исследования термообработанных твердых сплавов WC-Co / Л.И. Александрова, М.Г. Лошак, Т.Б. Горбачева, А.В. Варакина // Порошковая металлургия. – 1985. – № 5. – С. 93-98.
7. Горбачева Т.Б. Рентгенография твердых сплавов / Т.Б. Горбачева. – М. : Металлургия, 1985. – 102 с.

#### References:

1. Samotugin S.S., Khrystenko O.A. Plazmenoe modifizirovanie rezbonareznogo instrumenta [Plasma modification of a threading tool]. *Vestnik priazovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Tech-*

- nical sciences*, 2017, no. 34, pp. 105-112. (Rus.)
2. Rodin P.R. *Metalorejuschie instrumentu* [Cutting tools]. Moskow, Vuschay shkola Publ., 1974. 407 p. (Rus.)
  3. Granovskiy V.I., Granovskiy V.G. *Rezanie metallov* [Metal cutting]. Moskow, Vuschay shkola Publ., 1985. 304 p. (Rus.)
  4. Samotugin S.S., Leschinskiy L.K. *Plazmenoe uprochnenie instrumentalnuh materialov* [Plasma hardening of tools material]. Donetsk, Novui mir Publ., 2003. 338 p. (Rus.)
  5. Samotugin S.S., Lavrinenko V.I., Samotugina U.V., Kudinova E.V. *Vliyanie regumov plazmenoi obrabotki na strukturu i svoistva instrumentalnuh tverduh splavov* [Effect of plasma treatment regimes on the structure and properties of tool hard alloys]. *Sverhtverdue materialu – Superhard materials*, 2011, no. 3, pp. 74-84. (Rus.)
  6. Aleksandrova L.I., Loschak M.G., Gorbacheva T.B., Varaksina A.V. *Rentgenograficheskie isledovaniya termooobrotanuh tverduh splavov WC-Co* [Radiographic studies of heat treated hard alloys WC-Co]. *Poroschkovaya metalurgiya – Powder metallurgy*, 1985, no. 5, pp. 93-98. (Rus.)
  7. Gorbacheva T.B. *Rentgenografiya tverduh splavov* [Radiography of hard alloys]. Moskow, Metalurgiya Publ., 1985. 102 p. (Rus.)

Рецензент: А.А. Андилахай  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 11.04.2018

УДК 621. 833. 65

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142537

© Савлук А.П.<sup>1</sup>, Стрілець В.М.<sup>2</sup>, Стрілець О.Р.<sup>3</sup>, Степанюк А.А.<sup>4</sup>

### ВАНТАЖОУПОРНИЙ ЗУПИННИК МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ У ВИГЛЯДІ ЗАМКНУТОЇ ГІДРОСИСТЕМИ

*Описана будова і робота зупинника вантажу, який містить шестеренчастий насос, короткі трубопроводи, регулювальний кран, зворотні клапани і ємність для рідини. Всі деталі змонтовані на корпусі насоса. За напрямком підйому вантажу шестеренчастий насос приводиться в роботу та перекачує рідину по відкритому колу гідросистеми. По закінченні підйому вантаж зупиняється і створює зворотний обертальний момент, напрямком обертання насоса міняється і стопориться, бо зворотне коло гідросистеми закрито регулювальним краном.*

**Ключові слова:** зупинник вантажу, шестеренчастий насос, регулювальний кран, замкнута гідросистема, зворотний клапан, ємність для рідини.

**Савлук А.П., Стрілець В.М., Стрілець О.Р., Степанюк А.А. Грузоупорный останов механизмов подъема в виде замкнутой гидросистемы.** *Описано строение и работа останова груза, который состоит из шестеренчатого насоса, коротких трубопроводов, регулирующего крана, обратных клапанов и емкости для жидкости. Все детали смонтированы на корпусе насоса. За направлением подъема груза шестеренчатый насос приводится в работу и перекачивает жидкость по открытому кругу гидросистемы. По окончании*

<sup>1</sup> студент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [v.m.strilets@nuwm.edu.ua](mailto:v.m.strilets@nuwm.edu.ua)

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [oleg@hotmail.com](mailto:oleg@hotmail.com)

<sup>4</sup> канд. техн. наук, асистент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [a.a.stepaniuk@nuwm.edu.ua](mailto:a.a.stepaniuk@nuwm.edu.ua)