

**Андрущенко М.І.,
Осіпов М.Ю.,
Куликовський Р.А.,
Капустян О.Є.,
Акритова Т.О.**

Запорізький національний
технічний університет,
м. Запоріжжя, Україна
E-mail: mosipov61@ukr.net

**ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ
КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ КОЛІНО-
ВАЖІЛЬНИХ ПРЕСІВ.
ЧАСТИНА 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ,
ХАРАКТЕРУ І МЕХАНІЗМІВ ЗНОШУВАННЯ
РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЛІВ ТА ВИБІР
МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ**

УДК 621.791.927.5:669.15

Проведено аналіз умов, характеру і механізмів зношування робочих елементів колінчастих валів коліно-важільних пресів, які застосовується для напівсухого пресування вогнетривких і будівельних матеріалів. Показано, що поверхня шатунної шийки працює в умовах багатоциклового втомного зношування. Із-за нерівномірності питомого тиску на поверхню шийки в межах одного циклу пресування (холостий і робочий хід) величина зносу по її периметру не однакова і змінюється в межах 1,0 - 5,0 мм (з'являється овальність перетину шийки). В результаті зношування утворюється зазор між робочою поверхнею шийки і внутрішньою поверхнею підшипника ковзання, збільшується ступінь динамічності роботи механізму пресування, з'являються вібрації, що негативно впливає не тільки на опір зношуванню поверхонь деталей, які безпосередньо контактують, а й на надійність роботи та довговічність інших деталей пресу в цілому.

Встановлено, що посадочні місця під підшипники кочення і маточини зубчастої шестерні зношуються в результаті фреттинг-корозії, на що вказує наявність дрібних продуктів зношування (оксидів) на посадочних місцях. При досягненні критичної величини зносу (соті долі міліметра) може виникати проковзування сполучених поверхонь валу і підшипників, що призводить до інтенсивного адгезійного зношування та утворення задирів. Шпонковий паз зношується, як в результаті фреттинг-корозії, так і ще в більшій мірі, внаслідок пластичного деформування (зминання) його бічних поверхонь.

В якості матеріалу для відновлення поверхні шатунної шийки наплавленням валів зі сталей типу 45, 40Х або 40ХМ доцільно використовувати сталь 40Г2Ф, а для наплавлення посадкових місць і заплівання шпонкових пазів - метал типу 35СГ.

Ключові слова: колінчастий вал, коліно-важільний прес, шатунна шийка, шпонковий паз, знос, наплавлення.

Вступ

Ефективність роботи обладнання багато в чому залежить від технологічних перерв та зупинок на плановий або аварійний ремонт, а також від матеріальних затрат на ремонтні роботи. Найбільшою мірою це пов'язано зі зносом деталей та пресової оснастки. Однією із проблем підприємств по виготовленню вогнетривких та будівельних матеріалів є низький строк служби деталей коліно-важільних пресів. Зокрема, колінчасті вали цього обладнання дуже металомісткі (вага до 1,5 т), трудомісткі у виготовленні, піддаються одночасно трьом видам зношування: втомному поверхневому руйнуванню шатунної шийки, фреттинг-корозії поверхонь посадкових місць і змінанню шпонкових пазів. В результаті зношування виникають люфти (вільний хід) між деталями, які безпосередньо контактують, підвищується ступінь динамічності роботи пресу, виникають вібрації. Це негативно впливає не тільки на опір зношуванню цих деталей, але і на надійність роботи інших елементів вузла пресування та працездатність пресу в цілому. Тому задача відновлення зношених поверхонь валів та підвищення їх зносостійкості є актуальною.

Мета роботи

Метою даної роботи було проведення аналізу схеми та умов роботи валу, характеру та механізмів зношування; обґрунтування вибору матеріалів відновлення.

Матеріали і методика проведення роботи

Вид, характер та механізм зношування вивчали у виробничих умовах шляхом аналізу стану робочих поверхонь валів на підготовлених до ремонту деталях. Вибір способу наплавлення проводили шляхом узагальнення та порівняння відомих даних відносно способів наплавлення, враховуючи розміри та форму робочих поверхонь валу. Вибір матеріалів проводили на основі результатів досліджень зносостійкості металу в умовах тертя ковзання за схемою ролик-колодка, також, на основі аналізу термомеханічних діаграм, враховували поведінку аустеніту в умовах термічного циклу наплавлення. Порівнювали матеріали з феритною, ферито-перлітною, проміжними структурами та мартенситною.

Аналіз умов, характеру та механізмів зношування робочих поверхонь колінчастих валів

Очевидно, що обґрунтований вибір матеріалів для зміцнення і відновлення деталей, структурного стану і способу зміцнення можливий тільки на основі досить повних знань про параметри умов роботи, характер і механізм зношування робочих поверхонь і вимог до деталі.

Колінчасті вали є однією з основних деталей високої вартості механічних коліно-важільних пресів. Одним з них є прес СМ-1085А, який, в основному, призначений для напівсухого пресування вогнетривких, будівельних та інших виробів із порошкоподібних мас [1]. Прес складається із станини з вертикальними напрямними, приводного механізму і вузла пресування (рис. 1). Приводний вал передає обертання від електродвигуна через проміжний вал колінчастому валу. Останній пускає в хід механізм пресування, який складається з напрямних, рухливого повзуна, верхнього і нижнього штампотримачів та прес-форми. Колінчастий вал з'єднаний з механізмом пресування шатуном. Зусилля на вузол, пресування передаються за допомогою ланок 2, 3, 4. Повзун 5 з верхнім штампотримачем 6 здійснює зворотно-поступальні рухи у вертикальній площині.

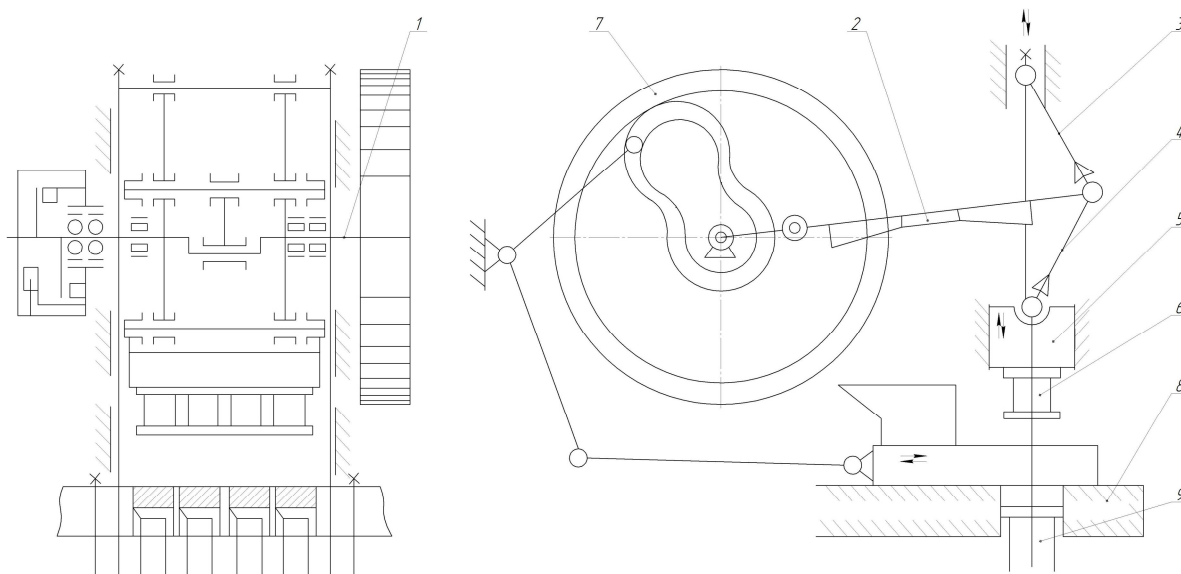


Рис. 1 – Кінематична схема вузла пресування пресу СМ-1085А:

- 1 – колінчастий вал;
- 2 – шатун;
- 3, 4 – важелі (ланки);
- 5 – повзун;
- 6 – верхній штампотримач;
- 7 – зубчасте колесо;
- 8 – прес-форма;
- 9 – нижній штампотримач

Колінчастий вал (рис. 2) являє собою деталь з двома співвісними корінними шийками і однією шатунною шийкою, зміщеною по відношенню до корінних на 230 мм. Вал обертається з кутовою швидкістю $8 - 10 \text{ хв}^{-1}$. У момент, коли ланки 3 і 4 розташовуються уздовж однієї вертикальної лінії, досягаються найбільші зусилля пресування та створюється максимальне навантаження на шатунну і корінні шийки. Потім відбувається «зламвання» ланок 3 і 4, настає зворотний (холостий) хід повзуна. Вали працює як балка на двох опорах з можливістю незначного ковзання уздовж осі. Зусилля (реакції) в підшипниках спрямовані по нормалі до осьової лінії. Вали виготовляються із сталей типу 45, 40Х або 40ХМ з твердістю HRC 30 - 35. Шатунна та корінні шийки можуть піддаватись накатуванню.

Швидкість ковзання поверхні шатунної шийки відносно підшипника коливається в межах $0,10 - 0,13 \text{ м/с}$, що не достатньо, щоб викликати помітний фрикційний нагрів навіть при відсутності мастила. Температура поверхні валу і втулки практично не відрізняється від температури повітря в приміщенні ($20 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$). Навантаження на поверхні тертя, в межах одного обороту вала, змінюється від незначного, при холостому ході, до максимального рівня, в момент, коли прес розвиває зусилля до 600 т на завершальній стадії пресування. Відомо, що питомий тиск залежить від площі контакту поверхонь, яка в міру припрацьовування і зношування деталей може змінюватися. Сили тертя в контактні цапфи з втулкою не впливають на розміри зони контакту і розподіл тиску [2]. Питомий тиск в зоні контакту може досягати 500 МПа, а при наявності микронерівностей значно перевищувати ці значення. В процесі роботи на сполучених поверхнях валу виникають багато - циклові напруження, що призводять до їх зношування.

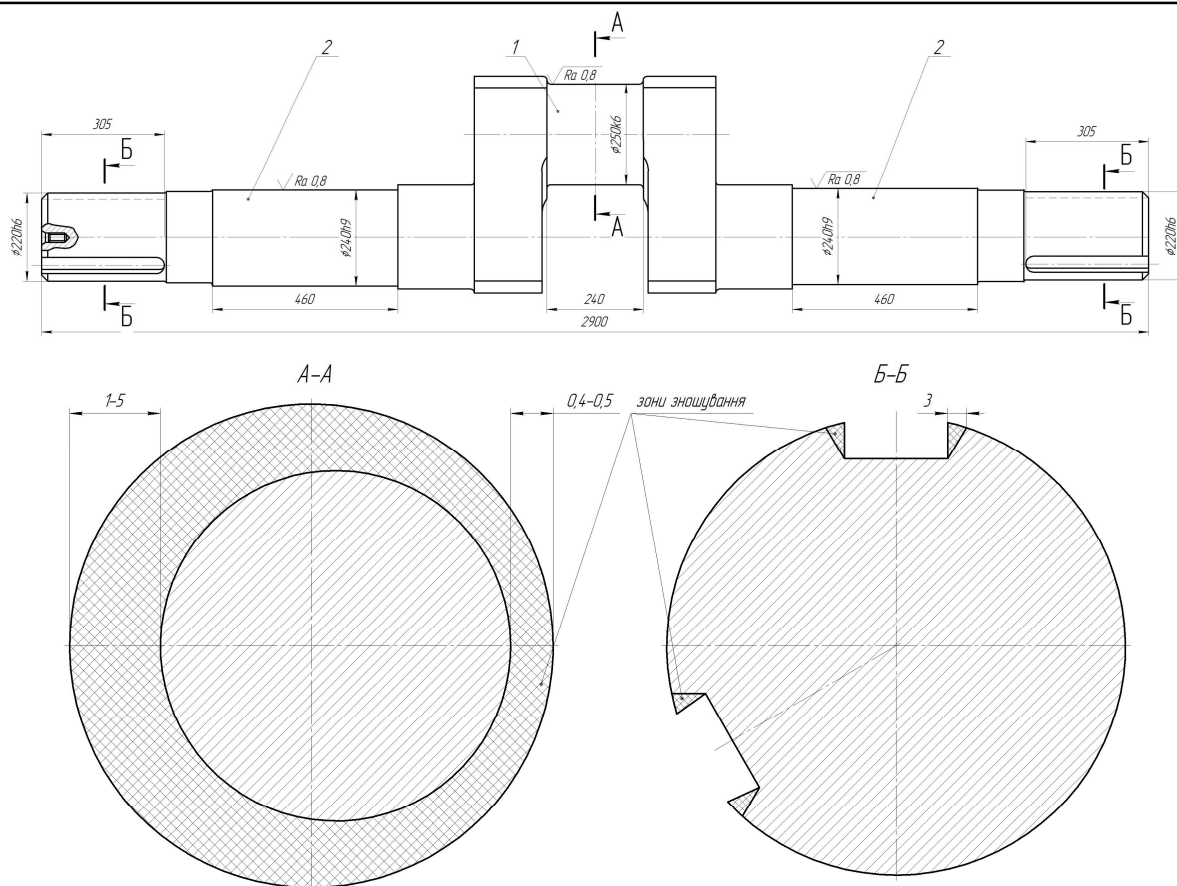


Рис. 2 – Колінчастий вал пресу CM-1085A та зони зношування його робочих поверхнь:

- 1 – шатунна шийка;
2 – корінна шийка.

На валу можна виділити три види робочих поверхнь, зношування яких визначає термін його служби:

1. Поверхня шатунної шийки, яка працює в парі з бронзовим підшипником ковзання.
2. Поверхні двох корінних шийок, які є посадковими місцями для підшипників кочення.
3. Шпонкові пази (два або три з кожної сторони валу), які працюють в парі зі сталевими загартуваними шпонками, що містяться на одному з кінців валу, який служить посадковим місцем для маточини зубчастого колеса.

Найбільш ймовірним процесом поверхневого руйнування кривошипно-шатунної шийки є багаточиклова втома, яка виникає в результаті повторного деформування мікрооб'ємів матеріалу, що викликає утворення тріщин і відділення частинок матеріалу [2, 3, 4]. В результаті зношування через нерівномірність розподілу тиску поверхня шийки валу набуває еліпсності (рис. 2). Максимальний її знос за міжремонтний період іноді досягає 5 мм. Для можливості їх подальшої експлуатації потрібне відновлення наплавленням шаром рівним величині зносу плюс припуск на обробку (до 2 - 3 мм).

Не дивлячись на відсутність процесу взаємного ковзання внутрішнього кільця підшипника кочення, маточини зубчастого колеса та посадкових місць валу, робочі поверхні в цих зонах також зношуються. Це є наслідком протікання між деталями, які щільно контактують, фреттинг-корозії. Інтенсивність зношування посадкових місць набагато менша, ніж на шатунній шийці (десять частки міліметра). Однак і в цьому випадку подальша експлуатація валу без відновлення посадкових місць не можлива.

У сполученні шпонки з поверхнею паза також можливе протікання фреттинг - корозії. Однак цей вид зношування не є переважаючим. Поверхні пазів шпонок втрачають свою працездатність в основному в результаті пластичного деформування (зминання) (рис. 2).

Таким чином, для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вибрати матеріали, які мають досить високу опірність втомному зношуванню, фреттинг - корозії та зминанню.

Вибір і обґрунтування матеріалу для наплавлення колінчастих валів

При виборі типу наплавленого металу виходили з того, що крім вимог підвищеної зносостійкості, повинна бути забезпечена достатня оброблюваність, висока чистота поверхні після обробки, відсутність тріщин. Ці властивості залежать перш за все від хімічного складу, поведінки аустеніту при охоло-

джені металу, твердості поверхні та можуть змінюватися в протилежних напрямках. Виходячи з цього порівнювали кілька типів матеріалів для наплавлення [6, 7, 8] і структур наплавленого металу (таблиця):

- 1) низьковуглецеві нелеговані сталі типу сталь 10;
- 2) середньовуглецеві низьколеговані сталі, які близькі за складом до основного металу колінчастого валу, зокрема сталь 40X;
- 3) середньовуглецеві підвищеної легуваності сталі типу 35ГС, 40Г2Ф, 30ХГСА, 30Х5;
- 4) високовуглецеві, низько- або середньолеговані сталі близькі за складом до нетеплостійких або напівтеплостійких сталей, наприклад сталь 65Х5Г2.

Всі ці матеріали випускаються промислово у вигляді дротів і холоднокатаних стрічок.

Таблиця

Властивості наплавленого металу (зразки)

№ групи	Тип металу	Твердість, HRC	Відносна зносостійкість, ϵ	Технологічність*
1	Сталь 10	160 HB	1,0	+
2	40X	20 - 25	1,4	+
3	30ХГСА	28 - 30	1,6	+
3	30Х5	30 - 31	1,7	+
3	35ГС	28 - 30	1,7	+
3	40Г2Ф	44 - 46	2,5	+
4	65Х5Г2	55 - 57	3,2	-

Примітка: * – можливість наплавлення без тріщин, задовільна оброблюваність

Матеріалами першої групи періодично відновлюють невеликі вали на підприємствах вогнетривкої та будівельної промисловості. Однак, через низький вміст вуглецю, в наплавленому шарі може бути отримана переважно феритна структура металу твердістю не вище 130 - 170 HB, що недостатньо для підвищення опірності втомному зношуванню, в умовах експлуатації шийок колінчастих валів.

При наплавленні матеріалу четвертої групи могла б бути отримана більш висока твердість і зносостійкість. Однак, при цьому, збільшується ймовірність гарячих і холодних тріщин. Крім того, механічна обробка різанням деталей, наплавлених такими матеріалами, практично не можлива.

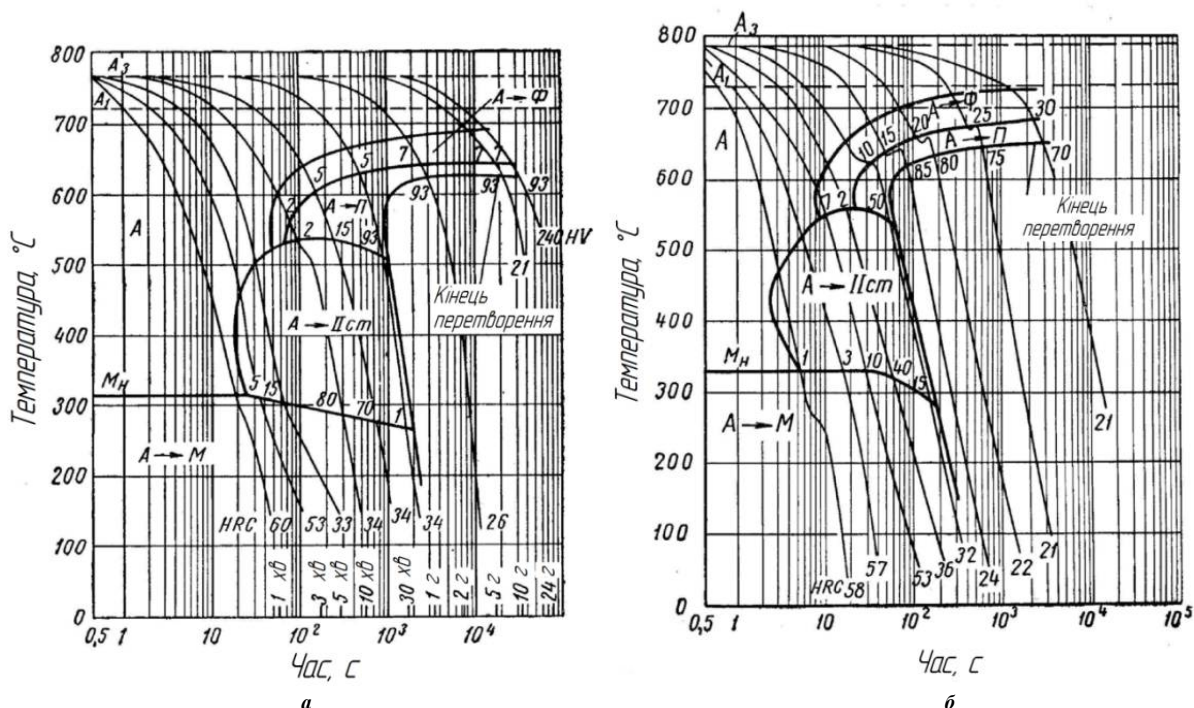


Рис. 3 – Термокінетична діаграма перетворення переохолодженого аустеніту сталей 40Г2Ф (а) і 35ГС (б) [7]

Аналіз термокінетичних діаграм [5, 7, 9] матеріалів, що відповідають складам другої і третьої груп (табл.), показує, що наплавлення сталлями другої групи не дозволить отримати помітно більш високу твердість через низьку стійкість аустеніту в області критичних температур в процесі охолодження наплавленого металу. Початок кривих проміжних перетворень на термокінетичних діаграмах таких сталей (наприклад, сталь 40X) зміщені вліво до дуже малих значень часу до початку розпаду аустеніту (3 - 4 с)

[5]. Тому, при охолодженні металу на повітрі, утворюється ферито-перлітна структура низької твердості й зносостійкості навіть в умовах фреттинг-корозії. Тільки при високих швидкостях охолодження в воді, або в водних розчинах, можливе отримання металу досить високої твердості 40 - 50 HRC. Однак при наплавленні такі швидкості недосяжні.

Аналіз характеру перетворення аустеніту більш легованих сталей (рис. 3) показав, що поставлений в роботі задачі наплавлення шатунної шийки відповідає метал типу 40Г2Ф, а для наплавлення посадкових місць під підшипники кочення і зубчасте колесо можна використовувати метал типу 35ГС.

Завдяки підвищеній стійкості аустеніту металу типу 40Г2Ф при охолодженні (рис. 3, а) в наплавленому металі утворюється бейнітна структура достатньої твердості й зносостійкості безпосередньо після охолодження на повітрі. Не виключено присутність в структурі деякої кількості середньовуглецевого мартенситу. Але при цьому ще можлива механічна обробка наплавлених деталей на токарних верстатах.

Таким чином, в якості матеріалу для наплавлення шатунних шийок найбільш прийнятною сталь 40Г2Ф, а для корінних шийок – 35ГС.

Висновки

1. Проведено аналіз умов, характеру і механізмів зношування робочих елементів колінчастих валів коліно - важільних пресів, які застосовуються для напівсухого пресування вогнетривких і будівельних матеріалів. Показано, що поверхня шатунної шийки працює в умовах багатоциклового втомного зношування. Із-за нерівномірності питомого тиску на поверхню шийки в межах одного циклу пресування (холостий і робочий хід) величина зносу по її периметру не однакова і змінюється в межах 0,4 - 2,0 мм (з'являється овальність перетину).

2. В результаті зносу утворюється зазор між робочою поверхнею шийки і внутрішньою поверхнею підшипника ковзання, збільшується ступінь динамічності роботи механізму пресування, з'являються вібрації, що негативно впливає не тільки на опір зношуванню поверхонь деталей, які безпосередньо контактують, а й на надійність роботи та довговічність інших деталей пресу в цілому.

3. Посадкові місця під підшипники кочення і маточину зубчастої шестерні зношуються в результаті фреттинг-корозії, на що вказує наявність дрібних продуктів зношування (оксидів) на посадкових місцях. При досягненні критичної величини зносу (соті долі міліметра) може виникати проковзування поверхонь валу і підшипників, що призводить до утворення задирів.

4. Шпонковий паз зношується, як в результаті фреттинг-корозії, так й, ще в більшій мірі, пластичного деформування (зминання) його бічних поверхонь.

5. В якості матеріалу для відновлення поверхні шатунної шийки наплавленням доцільно використовувати сталь 40Г2Ф, а для наплавлення посадкових місць і заварювання шпонкових пазів – метал типу 35ГС.

Література

1. Байсоголов В.Г. Механическое и транспортное оборудование заводов огнеупорной промышленности / В.Г. Байсоголов – М.: Металлургия, 1981. – 296 с.
2. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. – К.: Техника, 1976. – 292 с.
3. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: справочник. Кн. 1 / под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
4. Жильнеков Е. П. Основы триботехники: учеб. для вузов/ Е.П. Жильнеков, В.Н. Самсонов – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2012. – 136 с.
5. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы / М.А. Тылкин – М.: Металлургия, 1981. – 648 с.
6. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст] / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський – К.: Техніка, 2002. – 336 с.
7. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита / А.А. Попов, Л.Е. Попова – М.: Металлургия, 1965. – 494 с.
8. Андрущенко М.И. Способность к самоупрочнению поверхности трения и износостойкость наплавленного металла в условиях абразивного изнашивания / М.И. Андрущенко, Р.А. Куликовский, С.П. Бережный, О.Б. Сопильняк // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2009. – №1. – С. 30-37.
9. Шоршоров, М. Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / М. Х. Шоршоров, В.В. Белов - М.: Наука, 1972. - 220 с.

Поступила в редакцію 11.12.2017

Andrushchenko M.I., Osipov M.Y., Kulikovskiy R.A., Kapustian O.YE., Magda E.S., Akrytova T.O. **Designing of the technology of restoration and strengthening of the crankshaft knee-lever presses. Part 1. Analysis of the working conditions, the characteristic and the mechanism of the wear of working surfaces, selecting materials for repair.**

The analysis of the conditions, nature and mechanisms of wear of the working elements of the crankshaft of the knee-lever press used for semi-dry pressing of refractory and building materials is carried out. It is shown that the surface of the crankpin works under conditions of fatigue fatigue wear. Due to the uneven specific pressure on the cervical surface within one pressing cycle (idle and working stroke), the amount of wear along the circumference is not the same and varies within 1.0-5.0 mm (ovality of the neck section appears). As a result of wear, a gap is formed between the working surface of the neck and the inner surface of the sliding bearing, the degree of dynamism of the pressing mechanism increases, vibrations appear, which negatively affects not only the wear resistance of the surfaces of the parts that are in direct contact, but also the reliability and durability of other press components generally.

It has been established that the seats under the rolling bearings and the pinion of the pinion gear wear out as a result of fretting corrosion, as indicated by the presence of small wear products (oxides) in the seating positions. When the critical wear value (hundredths of a millimeter) is reached, slippage of the conjugate surfaces of the shaft and bearings may occur, which leads to intensive adhesion wear and scoring. Keyway groove wears out both as a result of fretting corrosion, and even more as a result of plastic deformation (crushing) of its lateral surfaces.

It is advisable to use 40Г2Ф steel as a material for restoring the surface of the crankpin by surfacing, and for metal deposition of seats and fusion of keyed grooves, a metal of the 35СТ type.

Key words: crankshaft, knee-lever press, connecting rod, keyway, wear, surfacing.

References

1. Bajsogolov V.G. *Mehanicheskoe i transportnoe oborudovanie zavodov ogneupornoj promyshlennosti*. V.G. Bajsogolov. M. Metallurgija, 1981. 296 s.
2. Kosteckij B.I. *Poverhnostnaja prochnost' pri trenii*. B.I. Kosteckij, I.G. Nosovskij, A.K. Karaulov i dr. K. Tehnika, 1976. 292 s.
3. Kragel'skij I.V. *Trenie, iznashivanie i smazka: spravochnik*. Kn. 1. pod red. I.V. Kragel'skogo i V.V. Alisina. M. Mashinostroenie, 1978. 400 s.
4. Zhil'nekov E. P. *Osnovy tribotekhniki: ucheb. dlja vuzov*. E.P. Zhil'nekov, V.N. Samsonov. Samara: Samar. gos. ajerokosm. un-t, 2012. 136 s.
5. Tylkin M.A. *Spravochnik termista remontnoj sluzhby*. M.A. Tylkin. M. Metallurgija, 1981. 648 s.
6. Bikovsk'ij O.G. *Dovidnik zvarnika [Tekst]*. O.G. Bikovsk'ij, I.V. Pin'kovsk'ij. K. Tehnika, 2002. 336 s.
7. Popov A.A., Popova L.E. *Izotermicheskie i termokineticheskie diagrammy raspada pereohlazhdennogo austenita*. A.A. Popov, L.E. Popova. M. Metallurgija, 1965. 494 s.
8. Andrushhenko M.I. *Sposobnost' k samouprochneniju poverhnosti trenija i iznosostojkost' naplavlennogo metalla v uslovijah abrazivnogo iznashivaniya*. M.I. Andrushhenko, R.A. Kulikovskij, S.P. Berezhnyj, O.B. Sopil'njak. *Novye materialy i tehnologii v metallurgii i mashinostroenii*. 2009. №1. S. 30-37.
9. Shorshorov, M. H. *Fazovyje prevrashhenija i izmenenija svojstv stali pri svarke*. M. H. Shorshorov, V.V. Belov. M. Nauka, 1972. 220 s.