

Т.І. Рибак, проф., д-р. техн. наук, М.І. Підгурський, канд. техн. наук, М.Я. Сташків,

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

Оцінка надійності несучих конструкцій і вузлів бурякозбиральних комбайнів на початковій стадії розвитку тріщин

Розглянуто напрямки підвищення надійності рамних конструкцій бурякозбиральних машин. Проведено дослідження з моделювання процесів зародження та розвитку втомних тріщин у зварних вузлах мобільних сільськогосподарських машин.

бурякозбиральні комбайни, надійність, довговічність, зварні рамні конструкції, втомні тріщини

Якість, технічний рівень, надійність і сервіс вітчизняної сільськогосподарської техніки були та є складними та болючими проблемами для машинобудівників й сільгоспвиробників, споживачів цієї техніки [1, 2]. У той же час саме ці показники є визначальними при придбанні нових машин в умовах перенасиченого ринку (що спостерігається зараз в Україні), оскільки використання ненадійної техніки суттєво і негативно впливає на подальше виробництво і реалізацію таких машин.

Проблеми забезпечення конкурентноспроможності вітчизняної техніки та її надійності розглядалися в роботах [3-7], зокрема тракторів [4, 7], зернозбиральних комбайнів [3, 5] та бурякозбиральних машин [6]. Відзначається, що кращі зарубіжні зразки комбайнів, тракторів та іншої складної техніки характеризуються високою надійністю та довговічністю з наробітком на відмову в обсязі не менше 140-180 годин роботи і мінімальним (до 3%) часом простоїв у період агротехнічних строків виконання робіт. У той же час технічна готовність нових складних машин вітчизняного виробництва знаходиться на рівні дослідних зразків (наробіток на відмову становить 11-40 годин, простої – 15-35%) [3].

Аналіз показує, що провідні зарубіжні фірми притримуються таких головних напрямків підвищення надійності техніки:

- пошук оптимальних конструктивних рішень;
- підвищення ресурсу елементів конструкцій за рахунок відбору матеріалів, використання різних способів зміцнення, наплавлення покриттів;
- виключення виробничих дефектів, суб'єктивних помилок завдяки впровадженню автоматизації;
- герметизація корпусів, фільтрація ПММ, робочих рідин і підвищення їх якості;
- якість фарбування машин;
- діагностування технічного стану елементів і профілактики обслуговування.

Розглянемо перші три напрямки підвищення надійності машин стосовно основних несучих конструкцій самохідних бурякозбиральних комбайнів, що випускаються та розроблені ВАТ “Тернопільський комбайновий завод”. Самохідні бурякозбиральні машини КС-6Б призначені для роздільного збирання гички та коренеплодів, комбайни КС-6Б-10 та КБС-6 “Збруч” забезпечують збирання гички та коренеплодів за один прохід машини. Слід відзначити, що саме друга технологія, на

сьогоднішній день, є найбільш ефективною в технологічному плані. Принципові схеми вказаних машин показані на рис.1, а основні технічні характеристики – у табл.1.

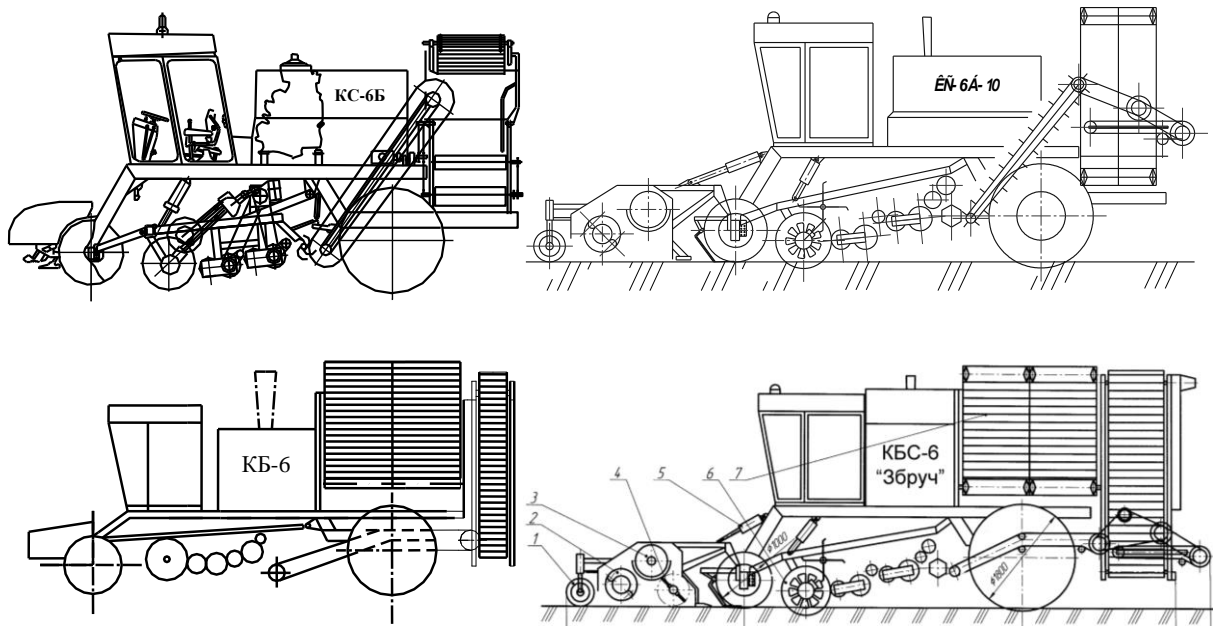


Рисунок 1 – Бурякозбиральні машини, які випускаються ВАТ „ТеКЗ”

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики бурякозбиральної техніки ВАТ „ТеКЗ”

| | Потужність двигуна, к.с. | Гичкозбиральний модуль | Бункер, м ³ | Маса, кг | у т.ч. із завантаженим бункером |
|---------------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------|---------------------------------|
| КС-6Б | 185 | — | — | 9000 | 9000 |
| КС-6Б-10 | 185 | МГР-6-03 | — | 11000 | 11000 |
| КС-6Б-10 | 185 | МГР-6-03 | 3 | 11800 | 14800 |
| КБ-6 | 235 | — | 8 | 12000 | 20000 |
| КБС-6 "Збруч" | 235 | МГР-6-03 | 10 | 14000 | 24000 |

Побудова вказаного ряду машин на базі коренезбиральної машини КС-6Б обумовила застосування серійних несучих конструкцій з подальшою їх модернізацією. Очевидно, що збільшення маси бурякозбиральної техніки ставить підвищені вимоги до конструктивного виконання, рівня надійності та якості виготовлення основних несучих конструкцій.

Забезпечення надійної роботи елементів конструкцій та деталей машин є складною та багатоплановою задачею. Це в повній мірі стосується оцінки довговічності та залишкового ресурсу елементів конструкцій. Її можна вирішити тільки шляхом поєднання зусиль на окремих етапах: від стадії проектування, де закладається надійність, через стадію виготовлення, де вона забезпечується, до стадії експлуатації, де надійність повинна реалізуватися.

Як відомо, конструкції несучих систем бурякозбиральних комбайнів мають ряд специфічних особливостей. Характерними для них є складна просторова геометрія, використання елементів різних типів, високий ступінь статичної невизначеності розрахункових схем, складний характер навантаження. Все це в значній мірі ускладнює вибір раціональних параметрів несучої системи.

Основна рама бурякозбиральної машини КС-6Б виготовляється із замкнутого гнutoзварного профілю 180x75x4 мм (сталь 09Г2С, $\sigma_T=375$ МПа). Методом скінченних

елементів (програма Ліра-9.0) проведено розрахунок несучих рам бурякозбиральної техніки. Відзначено, що у порівнянні із рамою бурякозбиральної машини КС-6Б, у рамах КС-6Б-10, КБ-6 та КБС-6 „Збруч” виникають не тільки додаткові згинальні навантаження у вертикальній площині, а й виникають крутні моменти від гичкозбирального модуля МГР-6-03 в місцях перегину рами та від бункера при переході від плоскої до просторової конструкції рами в умовах транспортування та робочому режимі експлуатації. Тому лонжерони рами вказаних машин запропоновано виготовляти з потовщеного гнutoзварного профілю 180x75x7 мм (сталь 09Г2С).

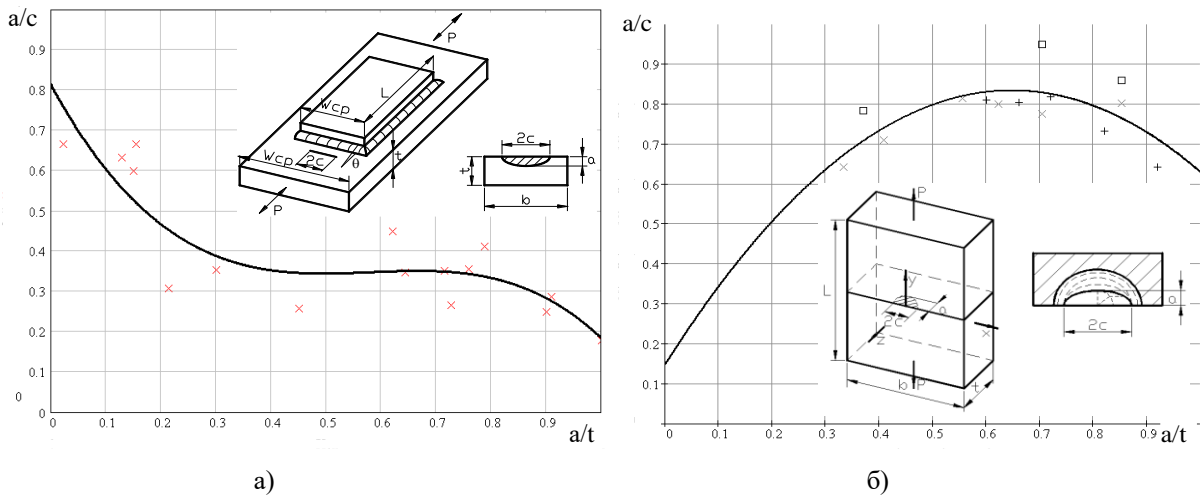
Основним критерієм роботоздатності рам є втомна довговічність [8], що підтверджується даними випробувань та експлуатації. Сприймаючи динамічні навантаження від ходової частини машини і змонтованих на ній силових і функціональних установок, рамні конструкції при експлуатації піддаються дії циклічних навантажень, що може привести до зародження і росту втомних тріщин. Руйнування відбувається, насамперед, в зонах концентрації напружень, пов'язаних як з особливостями геометрії несучих деталей (наявність уступів, накладок, ребер жорсткості та інших різких змін форми), так і різного роду неоднорідностей структури матеріалу, які особливо характерні для зварних з'єднань (підрізи, непровари, включення, пори і т.п.) [9].

Методом капілярного контролю, одним з неруйнівних методів діагностики зварних з'єднань, проведено дослідження зварних вузлів із тонкостінних гнutoзварних профілів, з яких виготовляються несучі рамні конструкції бурякозбиральних машин [10]. Відзначено наявність різких підрізів при механізованому зварюванні елементів зварних конструкцій в середовищі CO₂. Саме наявність дефектів зварювання стримує подальше підвищення навантаженості несучих конструкцій машин, приводить до невикористання в повній мірі закладених характеристик конструкційних матеріалів. І якщо з досліджень початкової дефектності зварних конструкцій, у тому числі сільськогосподарських машин, нагромаджено досить великий об'єм даних [11, 12], то проблемам пошкоджуючої дії різних дефектів та можливістю їх універсализації за пошкоджуючою дією приділена ще недостатня увага.

У зв'язку з цим проведені ресурсні випробування зразків із сталі 09Г2С. Зразки представляють собою зварні з'єднання з привареною накладкою і вибрані з ціллю дослідити поєднання впливу конструктивного концентратора напружень та дефектів зварювання (підрізів) на стадію зародження тріщин та циклічну довговічність, оскільки в інших типах зварних з'єднань на довговічність суттєво можуть вплинути непровари. Теоретичний коефіцієнт концентрації зварного вузла визначений експериментально методом малобазової тензометрії і складає $\alpha_\sigma=1,9$. Втомні випробування проводились при пульсуючому розтязі з коефіцієнтом асиметрії $R=0,25$ [13].

Результати випробувань елементів зварних з'єднань вказують на стохастичність процесу утворення втомних поверхневих макротріщин у зоні сплавлення накладки з поверхнею зразка біля кромки зварного шва, їх ріст та об'єднання при циклічному навантаженні, що приводить в кінцевому випадку до руйнування зразків.

На рис. 2 показано кінетику форми поверхневих втомних тріщин у зварному з'єднанні і для порівняння – з ініційованою тріщиною в основному металі. Встановлено, що поверхнева тріщина намагається вибрати найбільш енергетично вигідну форму. При цьому співвідношення a/c (відношення меншої півосі еліпса до більшої) при її розповсюдженні у зварному з'єднанні в 1.8 – 4.2 рази менше у порівнянні з ініційованою тріщиною, що розвивалась в однорідному полі напружень. Це пояснюється як особливостями напружено-деформованого стану в зонах концентрації напружень, так і стохастичністю утворення та об'єднання тріщин в зварному з'єднанні.



а – зварне з'єднання $\alpha_\sigma=1,9$;
 б – тріщина в однорідному полі напружень $\alpha_\sigma=1,0$
 Рисунок 2. – Кінетика форми поверхневих напівеліптичних тріщин

За допомогою програми MathCAD проведено апроксимацію кінетики розвитку поверхневих тріщин, що розвиваються у зварному з'єднанні

$$a/c = 0.813 - 2.51 \cdot (a/t) + 4.428 \cdot (a/t)^2 - 2.54 \cdot (a/t)^3$$

та однорідному полі напружень

$$a/c = 0.148 + 2.121 \cdot (a/t) - 1.639 \cdot (a/t)^2$$

Отримані результати є важливими для оцінки напружено – деформованого стану у вершині поверхневої втомної тріщини і суттєво впливають на коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН), який характеризує поле напружень у вершині напівеліптичної тріщини [13]. Поверхневі напівеліптичні тріщини в процесі експлуатації проростають у наскрізну, і оцінка КІН для тріщини, що розвивається у замкнутому гнutoзварному профілі, з якого виготовляють рамні конструкції комбайнів, наведена у [14].

При аналізі втомних процесів важливим є питання співвідношення довговічностей на стадії зародження та розвитку тріщин, оскільки критеріальна оцінка обох стадій має різне теоретичне підґрунтя. Зокрема, стосовно мобільних сільськогосподарських машин (тракторів, причепів, кормороздавачів), то довговічність несучих конструкцій за моментом утворення тріщин складає 15-20% ресурсу рам, і їх роботоздатність забезпечена завдяки повільному розвитку тріщин в експлуатації [15, 16]. Так, для рамних конструкцій, що характеризуються великою протяжністю зварних швів, які мають часто до початку експлуатації дефекти у вигляді підрізів, непроварів, холодних чи гарячих тріщин в якості критерію тріщиноутворення прийняти розвиток тріщини на довжину 15-25 мм; для деталей валів – довжиною 10 мм [15]. У якості критерію їх граничного стану взято або остаточне руйнування балки (для багаторазових статично невизначених систем), або довжину тріщини, що охоплює більше 30-40% площі початкового перерізу (для зварних балок відкритих і замкнутих профілів, листових зварних конструкцій).

У відповідності до [8], в якості критерію тріщиноутворення, приймаємо глибину тріщини 2-3 мм, що, відповідно з даними (рис. 2), корелюється з [15].

На рис. 3, на основі проведених експериментальних досліджень та даних [17], показано, що при відсутності концентратора напружень число циклів N_3 , необхідне для зародження тріщини, може складати 0,8 – 0,9 загального числа циклів N до руйнування. При збільшенні концентрації напружень (зварне з'єднання ($\alpha_\sigma=1,9$) та ініційовані надрізи ($\alpha_\sigma=3,6-3,8$), що імітують гострі підрізи) відношення N_3/N суттєво зменшується. Очевидно, що тріщини можуть з'являтися вже на ранній стадії експлуатації, суттєво впливаючи на загальний ресурс роботи рамних конструкцій.

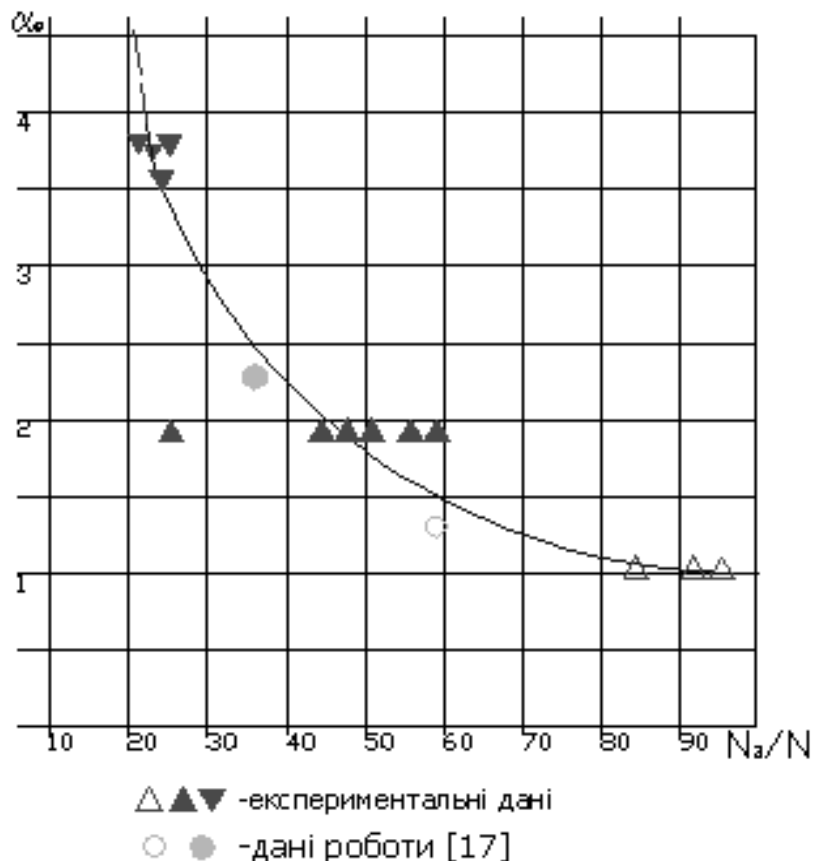


Рисунок 3 – Відносне число циклів до зародження втомної тріщини в залежності від концентратора напружень

Таким чином, моделювання процесів зародження і росту втомних тріщин та врахування їх при проектуванні має вирішальне значення для встановлення причин виникнення втомних пошкоджень і вибору ефективних методів їх запобігання.

Список літератури

1. Черновол М.І., Аулін В.В., Солових Є.К. Проблеми та задачі теорії надійності машин // Праці I –ї н.-т. конф. „Динаміка міцність і надійність сільськогосподарських машин” – Тернопіль, 2004. – С.567 – 569.
2. Войтюк В., Демко А., Демко С. Технічний сервіс – як засіб розв’язування проблем надійності сільськогосподарської техніки // Техніка АПК, 2004. – № 6-7., С.37 – 39.
3. Собчук М., Коваль С., Погорілий В. Технічне переоснащення сільського господарства України через призму випробування нової техніки // Техніка АПК, 2004. – № 9., С.14-16.
4. Басін В. Проблеми забезпечення конкурентноспроможності вітчизняної техніки // Техніка АПК, 2004. – № 4-5., С.18-19.
5. Митрофанов О. Надійність вітчизняної зернозбиральних комбайнів – міфи та реальність // Техніка АПК, 2004. – № 12., С.22-23.

6. Погорельый Л.В., Татьянако Н.В. Свеклоуборочные машины: история, теория, прогноз. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
7. Сравнительная оценка эффективности некоторых тракторов производства Харьковского и Минского тракторного заводов / В.Самородов, В.Тимофеев, Н.Сергиенко, А.Лебедев и др. // Техника АПК, 2004. – № 6-7. – С. 15-17.
8. РД 40-551-85. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Расчетно – экспериментальные методы оценки сопротивления усталости сварных соединений. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 52 с.
9. Андрейків О., Дарчук О. До оцінки довговічності мобільних сільськогосподарських машин на основі механіки втомного руйнування // Вісник ТДТУ, 1998. – Т. 3. - № 4. – С. 101 – 106.
10. Підгурський М.І. Застосування критеріїв механіки втомного руйнування до оцінки початкової дефектності зварних з'єднань сільськогосподарських машин // Труды 10-й Международной н.-т. конф. „Физические и компьютерные технологии”. – Харьков, 2004. – С. 153-156.
11. Лепихин А.М., Москвичев В.В. Базы данных по дефектности и характеристикам трещиностойкости в расчетах надежности сварных конструкций // Проблемы машиностроения и автоматизации, 1991. - № 5. – С. 85-89.
12. Харченко В.Я., Черногоров А.Л. Статистический анализ геометрии сварных швов сельскохозяйственных машин с позиций требований к качеству // Опыт и пути дальнейшего развития комплексного управления качеством в сварочном производстве. Матер. Всесоюз. н.-т. конф. – Донецк: ИЭС УССР, 1988. – С. 140–144.
13. Підгурський М.І., Рибак Т.І. Циклічна тріщинозчутливість і руйнування елементів зварних конструкцій // Праці 4 Міжнар. симпозіуму з трибофатики. – Тернопіль: ТДТУ, 2002. – Т. 1. – С.290–295.
14. Вплив стисненого кручення на ресурс роботи тримких елементів рами машини КС-6Б / Т.І. Рибак, М.І. Підгурський, М.Я. Сташків, А.В. Бабій // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – Випуск 33. – С. 81-88.
15. Дмитриченко С.С., Панкратов Н.М., Борисов Ю.С. Повышение долговечности деталей и узлов машин на основе априорных данных каталога характеристик сопротивлению усталости // Вест. машиностроения, 1993. - № 12. – С. 3 – 5.
16. Ускоренные испытания на усталость несущих систем тракторных прицепов и кормораздатчиков / Л.В. Погорельый, Г.В. Макушкин, Э.Я. Филатов, М.С. Тракало // Тракторы и сельхозмашины, 1981. - № 10. – С. 31-33.
17. Труфяков В.И. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. – К.: Наук. думка, 1990. – 256 с.

Рассмотрены вопросы повышения надежности рамных конструкций свеклоуборочных машин. Проведены исследования по моделированию процессов зарождения и развития усталостных трещин в сварных узлах мобильных сельскохозяйственных машин.

Directions of increase of reliability of frame constructions of beet combines are considered. Research is conducted from the design of processes of origin and development of fatigue cracks in the welded knots and constructions of mobile agricultural machines.

Одержано 30.08.08