

Повреждаемость лесозаготовительных машин при изготовлении

А.В. Питухин, С.А. Кильпеляйнен

Петрозаводский государственный университет

Аннотация: Проведен системный анализ видов повреждаемости лесозаготовительных машин и повреждаемости их при изготовлении. Получено, что существенное влияние на надёжность техники оказывают дефекты материала, формы и размеров детали. Основное внимание в статье уделяется рассмотрению трещиноподобных дефектов. Если в качестве меры повреждения принять длину трещины и применить в расчетах методы механики разрушения, то окажется очевидной связь эксплуатационной и производственной повреждаемостей. Установлено, что основной причиной отказов деталей лесозаготовительных машин отечественного производства является недостаточно высокое качество их изготовления. Рекомендуется шире использовать такую характеристику материалов как вязкость разрушения для оценки надёжности при проектировании.

Ключевые слова: лесозаготовительная машина, надёжность, повреждаемость, дефекты изготовления, вязкость разрушения.

Эффективность и надёжность любой технической системы определяется уровнем проектирования этой системы, качеством ее изготовления и эксплуатации.

Согласно ГОСТ 27.002-89 «Надёжность в технике. Термины и определения» различают конструкционные, производственные и эксплуатационные отказы. Эксплуатационные отказы и соответствующая повреждаемость рассмотрены в работе [1]. По результатам многолетних исследований причин отказов лесозаготовительных машин на базе тракторов Онежского Тракторного Завода (ОТЗ), проводимых совместно Карельским НИИ лесной промышленности и Петрозаводским государственным университетом, 46% деталей тракторов теряют свою работоспособность вследствие неудовлетворительного качества изготовления. Отказы, возникшие в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, выполнявшегося на ремонтном предприятии, относят к производственным. Очевидно, они определяются качеством технологических процессов изготовления и прежде всего повреждаемостью, которую наносят эти процессы. Производственная повреждаемость вносится за счет недостаточной надёжности

технологического процесса и таких остаточных и побочных явлений как возникновение технологических дефектов, наследственность, последующее изменение свойств [2]. Дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией. На надежность оказывают влияние как дефекты формы и размеров обработанных изделий, так и дефекты материала и поверхностных слоев. Дефекты в материале могут быть различного происхождения [3]. Одни из них зарождаются в процессе начальной стадии формирования детали (литье, поковка, штамповка); другие - при последующих операциях технологического процесса (сварка, термическая обработка, механическая обработка, сборка).

Основными трещиноподобными дефектами в металлах являются раковины, трещины, волосовины, флокены, неметаллические включения, дефекты поверхности. К нетрещиноподобным дефектам можно отнести несоответствие по размерам, химическому составу, механическим и физическим свойствам, структуре, величине перекосов и зазоров в сопряжениях и др. Особое влияние на работоспособность изделий оказывает механическая обработка, которая придает окончательную форму и свойства рабочим поверхностям деталей. Обработка металлов резанием сопровождается сложными физическими процессами, вызывающими пластические деформации, наклеп и нагрев поверхностного слоя [2, 4, 5]. Очаги разрушения, как правило, образуются на поверхности. Так, напряжения на дне риска от механической обработки в 2-2,5 раза превосходят среднюю величину напряжений поверхностного слоя [6]. Предел выносливости образцов при уменьшении их шероховатости от $Ra=0,74$ мкм до $Ra=0,22$ мкм в среднем увеличивается на 14%, а срок службы более чем в 3 раза [6]. Наличие даже небольших рисков

($R_{max} = 1,4$ мкм) на полированной поверхности приводит к уменьшению усталостной прочности до 5%.

Существенное влияние на долговечность элементов конструкций оказывают внутренние напряжения. Внутренние напряжения концентрируются вокруг дефектов и нередко достигают большой величины, вызывая разрывы и местные трещины [7].

Как уже говорилось ранее, нами исследованы причины отказов более чем двухсот деталей лесозаготовительных машин на базе тракторов ОТЗ. Из них 46% имеют явные технологические дефекты. Наиболее опасны такие трещиноподобные дефекты как литейные раковины (балансиры, звенья гусениц, ведущее колесо, картер главной передачи), неметаллические включения (пружины подвески), крупные риски от механической обработки (переходная поверхность зубчатых колес), поверхностные микротрещины (пружины, зубчатые колеса). На рис.1, рис.2 и рис.3 представлены некоторые из перечисленных дефектов.

Исследования неметаллических включений в пружинах подвески производились на микроскопе МЕТАМ-Р1. Определялась степень загрязненности металла неметаллическими включениями и максимальные размеры этих включений. При определении загрязненности металла неметаллическими включениями использовался объектив с фокусным расстоянием $F = 25$ мм (увеличение $\times 8,0$) и окуляр АКШ-4 увеличением $\times 1,25$. На окуляр навинчивалась специальная диафрагма, ограничивающая поле зрения в плоскости объекта до 0,8 мм при увеличении $\times 100$. Оценка загрязненности производилась по 5-бальной системе путем сравнения с эталонными шкалами при просмотре всей площади нетравленных шлифов.

Для измерения величины дефектов использовался окуляр АКШ-1 с увеличением $\times 6,3$.

Тип неметаллических включений во всех шлифах по фотоэтalonу – точечные нитриды.

Анализируя результаты исследований, можно сделать вывод о существенном рассеянии как уровня загрязненности, так и максимального размера неметаллических включений. Оценка среднего размера наибольших неметаллических включений составила 0,048мм, а оценка среднего квадратического отклонения 0,036. Таким образом, получился весьма существенный коэффициент вариации $v=0,75$.

Исследования неметаллических включений играют весьма важную роль, так как напряжения из-за наличия концентраций напряжений на включениях или механических повреждениях могут быть выше предела текучести. Зарождение усталостных трещин в таких включениях было отмечено многими исследователями [8]. Особенно это важно для высокопрочной стали из которой и навивают пружины. Таким образом, крупные неметаллические включения могут играть роль трещиноподобных дефектов. Отрицательное влияние металлургических дефектов особенно проявляется при действии высоких рабочих напряжений, какие испытывают пружины подвески лесных машин.

С опорных предприятий АО «Кареллеспром» поступило на исследование в Петрозаводский университет 43 зубчатых колеса, что составляет 28% от всех деталей, поставляемых на экспертизу. Это говорит о С результатами более полного исследования деталей можно ознакомиться по работам [9,10].

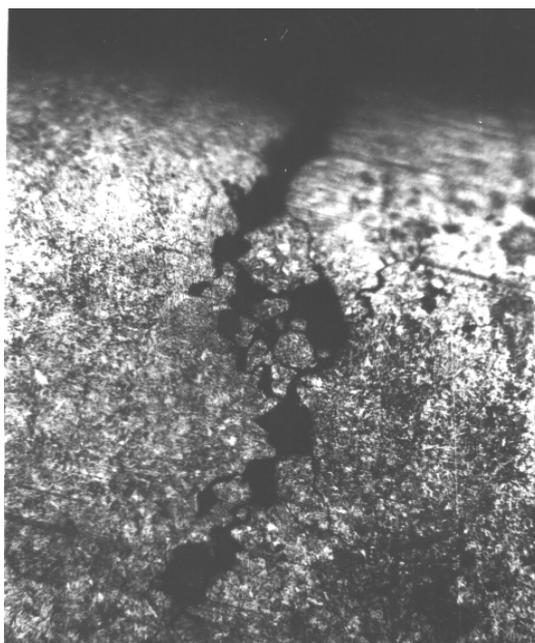


Рис.1. Поверхностная микротрещина на зубчатом колесе коробки передач трактора ТДТ-55А

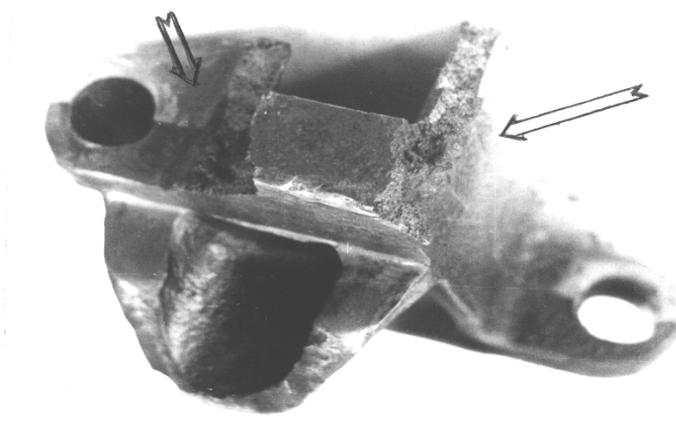


Рис.2. Дефекты литья. Звено гусеницы трактора ТБ-1М

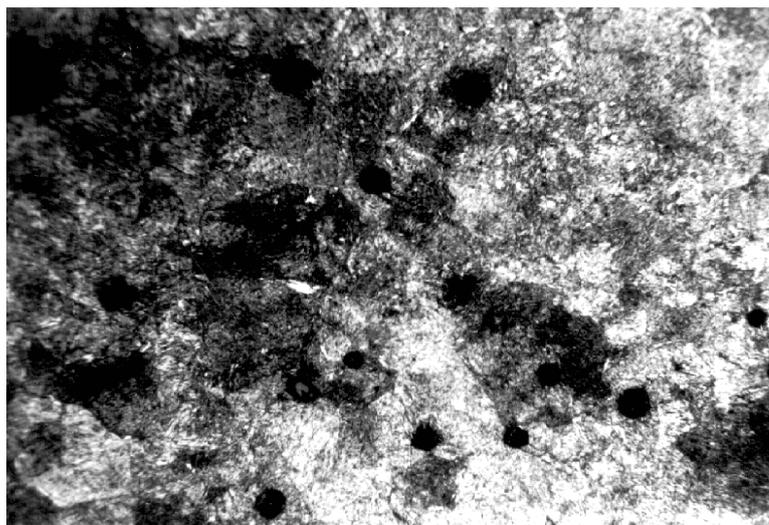


Рис.3. Неметаллические включения в пружине в зоне действия максимальных напряжений на внутренних волокнах

В процессе эксплуатации элементы конструкций лесных машин подвержены воздействию нагрузок, окружающей среды и, опосредованно, обслуживающего персонала. При циклическом воздействии нагрузок, например, мерой повреждаемости в принятых феноменологических методиках расчета является сумма накопленных усталостных повреждений, которая при достижении своего предельного значения обусловит разрушение конструкции. С величиной имеющихся трещиноподобных дефектов изготовления, определяемых производственной повреждаемостью, такой расчет не взаимосвязан. Если в качестве меры повреждения принять длину трещины и применить в расчетах методы механики разрушения, то окажется очевидной связь эксплуатационной и производственной повреждаемостей. Предельной мерой здесь явится критическая длина трещины или критический коэффициент интенсивности напряжений (вязкость разрушения). В качестве трещиноподобных дефектов, которые можно рассматривать как некоторые эквивалентные трещины по их влиянию, могут быть приняты горячие и холодные трещины в сварных соединениях, непровары, закалочные трещины, газовые раковины, рыхлости, шлаковые включения и спаи в литых деталях, крупные неметаллические включения в

высоконагруженных деталях, риски от механической обработки и др. Размеры таких дефектов зависят от технологической дисциплины, требований ОТК и могут быть определены неразрушающими методами контроля. Таким образом, мы можем в какой-то степени управлять технологической повреждаемостью и размер трещиноподобного дефекта принять в качестве оптимизирующего параметра при проектировании.

Производственная и эксплуатационная повреждаемости тесно взаимосвязаны. Так в процессе эксплуатации многие элементы конструкций лесных машин подвергаются воздействию коррозионных сред (химическая энергия) в виде атмосферной влаги. Помимо явлений электрохимической коррозии атмосферная влага приводит к более интенсивному накоплению усталостных повреждений а так же ускоренному зарождению трещин из трещиноподобных дефектов. Предел выносливости вследствие влияния коррозионной среды снижается в 3-6 раз и более [11]. Влияние коррозии с ростом предела прочности стали усиливается. Так, для стали с $\sigma_B = 1200$ МПа при испытании в пресной воде предел выносливости снижается в 5 раз. Вода оказывает влияние и на вязкость разрушения, снижая ее, что особенно проявляется при низких скоростях нагружения [12]. С ростом содержания углерода в стали и снижением температуры отпуска влияние среды усиливается. Применение в расчетной практике такой характеристики материала как вязкость разрушения K_{IC} позволит учесть взаимовлияние повреждаемостей [13].

В лесном машиностроении применение предлагаемых методов механики разрушения и моделей повреждаемостей целесообразно ещё и по следующим обстоятельствам:

1. В элементах конструкций лесозаготовительных машин при их изготовлении образуются трещиноподобные дефекты в виде литейных

- раковин, неметаллических включений, рисков от механической обработки.
2. Вязкость разрушения и размер трещиноподобного дефекта позволит учесть взаимовлияние производственной и эксплуатационной повреждаемостей.
 3. Свыше 70% отказов лесозаготовительных тракторов производства ОАО «ОТЗ» относятся к производственным или эксплуатационным.

Представленный подход вполне согласуется с рассмотренными в работах [14,15] путями развития лесного машиностроения в Российской Федерации

Литература

1. Питухин А.В. Повреждаемость лесозаготовительных машин в условиях эксплуатации // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5450.
2. Проников А.С. Надёжность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592с.
3. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. М.: Машиностроение, 1973. 430с.
4. Хусу А.П., Витемберг Ю.Р., Пальмов В.А. Шероховатость поверхностей. Теоретико-вероятностный подход. М.: Наука, 1975. 344с
5. Комбалов В.С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей. М.: Наука, 1983. 136с.
6. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Техническое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. М.: Машиностроение, 1972. 176с.
7. Орлов П.И. Основы конструирования. Кн.1. М.: Машиностроение, 1977. 623с.

8. Broek D. Elementary Engineering Fracture Mechanics. Leyden: Noordhoff International Publishing. 1974. 408p.

9. Питухин А.В. Качество и надежность деталей лесных тракторов. //Лесная промышленность, 1987, №11. С.24.

10. Питухин А.В., Малинен П.А., Шиловский В.Н., Анасьев В.А. Исследование надежности балансиров лесных машин.//Известия ВУЗ «Лесной журнал», 1988, №2. С.34-36.

11. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчёты деталей машин на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1986. 224с.

12. Романив О.Н. Вязкость разрушения конструкционных сталей. М.: Металлургия, 1979. 176 с.

13. Pitukhin A.V. Fracture Mechanics and Optimal Design // International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1992. V.34. pp. 933-940.

14. Шегельман И.Р., Будник П.В., Хюннинен И.А. Методика построения стохастических моделей структуры древостоя по толщине при проектировании лесных машин // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5269.

15. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Васильев А.С. Тенденции развития современного Российского лесного машиностроения // Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3561.

References

1. Pitukhin A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5450.

2. Pronikov A.S. Nadyozhnost' mashin. [Machine reliability]. М.: Mashinostroenie, 1978. 592p.

3. Elizavetin M.A. Povyshenie nadezhnosti mashin. [Improving machine reliability]. М.: Mashinostroenie, 1973. 430p.

4. Husu A.P., Vitemberg YU.R., Pal'mov V.A. Sherohovatost' poverhnostej. Teoretiko-veroyatnostnyj podhod. [Surface roughness. Probability-theoretic approach]. M.: Nauka, 1975. 344p.

5. Kombalov V.S. Ocenka tribotekhnicheskikh svojstv kontaktiruyushchih poverhnostej. [Evaluation of the tribological properties of contact surfaces]. M.: Nauka, 1983. 136p.

6. Ryzhov E.V., Suslov A.G., Fedorov V.P. Tekhnicheskoe obespechenie ehkspluatacionnyh svojstv detalej mashin. [Technical support of operational properties of machine parts]. M.: Mashinostroenie, 1972. 176p.

7. Orlov P.I. Osnovy konstruirovaniya. Kn.1. [Design basics. Book 1]. M.: Mashinostroenie, 1977. 623p.

8. Broek D. Elementary Engineering Fracture Mechanics. Leyden: Noordhoff International Publishing. 1974. 408p.

9. Pituhin A.V. Lesnaya promyshlennost' (Rus), 1987, №11. P.24.

10. Pituhin A.V., Malinen P.A., Shilovskij V.N., Anas'ev V.A. Izvestiya VUZ «Lesnoj zhurnal» (Rus), 1988, №2. P.34-36.

11. Kogaev V.P., Mahutov N.A., Gusenkov A.P. Raschyoty detalej mashin na prochnost' i dolgovechnost'. [Calculations of machine parts for strength and durability.] M.: Mashinostroenie, 1986. 224p.

12. Romaniv O.N. Vyazkost' razrusheniya konstrukcionnyh stalej. [Fracture toughness of structural steels]. M.: Metallurgiya, 1979. 176 p.

13. Pitukhin A.V. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1992. V.34. P. 933-940.

14. Shegel'man I.R., Budnik P.V., Hyunninen I.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5269.

15. Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznecov A.V., Vasil'ev A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3561.
