

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СЖАТИЯ В УПРОЧНЕННОМ СЛОЕ КОЛЕС ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТРАНСМИССИЙ МОБИЛЬНОГО ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА ТТР-401 М ПОСЛЕ ИХ УПРОЧНЕНИЯ

Пищов М.Н., Бельский С.Е., Сурус А.И., Царук Ф.Ф.

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Ключевые слова: остаточные напряжения, зубчатые передачи, упрочнение, детали трансмиссии, трелевочный трактор, износостойкость, разрушение, упрочненный слой, динамические нагрузки, микротвердость.

Аннотация. На основе анализа условий эксплуатации мобильных лесозаготовительных машин, определены повреждения, которые появляются в результате интенсивного износа деталей трансмиссий. Изучена микротвердость поверхностных слоев. Предложена методика экспериментального определения остаточных напряжений в упрочненном слое зубчатых колес трелевочного трактора после проведения борирования и боросилицирования. В результате чего доказана целесообразность применения их в качестве упрочнения тяжело нагруженных и быстроизнашивающихся зубчатых колес деталей трансмиссий лесных мобильных машин.

INVESTIGATION OF RESIDUAL COMPRESSIVE STRESSES IN THE HARDENED LAYER OF GEAR WHEELS OF TRANSMISSIONS OF THE TTR-401 M MOBILE SKIDDING TRACTOR AFTER HARDENING

Pishchov M.N., Belsky S.E., Surus A.I., Tsaruk F.F.

Belarusian State Technological University, Minsk

Keywords: residual stresses, gears, hardening, transmission details, skidder, wear resistance, failure, hardened layer, dynamic loading, microhardness.

Abstract. Based on the analysis of the operating conditions of mobile forestry machines, the damages that occur as a result of intensive wear of transmission parts have been identified. The microhardness of the surface layers was studied. A technique is proposed for the experimental determination of residual stresses in the hardened layer of gear wheels of a skidder after borating and borosilicating. As a result, the feasibility of using them as a hardening of heavily loaded and wearing gears of transmission parts of forest mobile machines has been proved.

В настоящее время на заготовке древесины предпочтение отдается колесным машинам, обладающим по сравнению с гусеничными лучшей управляемостью и маневренностью, более высокими скоростными показателями, эргономическими качествами и надежностью, меньшей металлоемкостью и затратами на обслуживание. Разрушение контактных поверхностей конических зубчатых колес переднего ведущего моста трелевочного трактора ТТР-401 М при его эксплуатации, как уже отмечалось, связано с образованием на зубьях пластических деформаций. Так, остаточные напряжения растяжения в ходе длительного воздействия на микротрещины вызывают их увеличение до критических значений, при которых резко снижается прочность и износостойкость деталей, что в итоге приводит к разрушению всей поверхности. С учетом остаточных напряжений сжатия можно оценивать предельные размеры

и скорость усталостных трещин, а, следовательно, и долговечность всей детали в целом. В работах [1-4] показано, что остаточные напряжения сжатия существенно замедляют рост образования усталостных трещин. Таким образом, остаточные напряжения сжатия в области локальных пластических деформаций будут замедлять процессы разрушения, протекающие, как правило, с образованием остаточных напряжений растяжения. В ходе исследований было изучено влияние составов смеси, а также температурно-временных параметров различных процессов упрочнения на распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя. Определялся как уровень остаточных напряжений, так и их знак.

Установлено, что характер распространения остаточных напряжений по глубине слоя практически одинаковый для разных процессов упрочнения. Максимальных значений остаточные напряжения сжатия достигают на поверхности упрочнения. Установлено, что величина и знак остаточных напряжений в основе металла зависят от термической обработки. Так при закалке образцов остаточные напряжения в основе металла являются сжимающими, что повышает прочность основы [4].

Для подтверждения теоретических расчетов модели было проведено экспериментальное определение характера распределения остаточных напряжений в упрочненных различными методами диффузионных слоях на косых шлифах образцов размерами 10×10×10 мм методом рентгеноструктурного анализа на установке фирмы Bruker (рисунок 1).

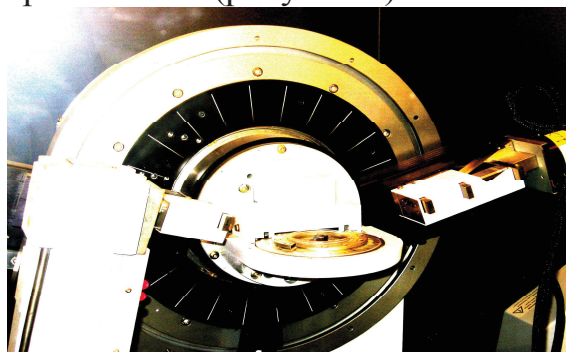


Рис. 1. Установка для проведения рентгеноструктурного анализа фирмы Bruker

Микронапряжения связаны с неоднородной упругой деформацией кристаллической решетки металла и характеризуются величиной относительной микродеформации решетки $\Delta a/a$ [5]:

$$\sigma_{II} = E \cdot \left(\frac{\Delta a}{a} \right) + \frac{E_{\beta}}{4 \cdot R \cdot \operatorname{tg} \Theta}, \quad (1)$$

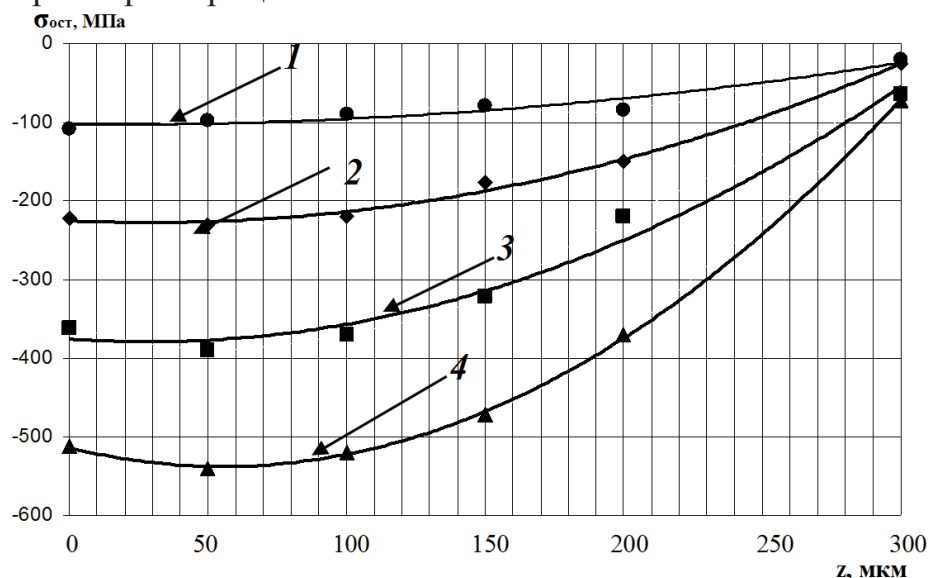
где E – модуль упругости, МПа; β – физическое уширение интерференционной линии; R – радиус камеры или радиус окружности, по которой движется счетчик (дифрактометр и т.д.), мм; Θ – угол отражения соответствующей интерференционной линии. Диаметр блоков когерентного рассеяния в направлении, перпендикулярном кристаллографической плоскости, отражение от которой зафиксировано на дифрактограмме, определяется из соотношения:

$$D = \frac{0,94 \cdot \lambda \cdot R}{\beta \cdot \cos \Theta}, \quad (2)$$

Физическое уширение интерференционной линии β может быть определено при обработке рентгенограммы исследуемого образца и сравнении ее с рентгенограммой эталонного. Уширение вызвано неоднородностью излучения, геометрическими условиями съемки или структурными особенностями материала (микронапряжения, измельчение блоков, неоднородность химического состава и т.д.).

При обработке результатов рентгеновского анализа определяли ширину интерференционной линии на дифрактограмме, ее ширину с поправкой на немонахроматичность излучения и физическое уширение β , полученное после внесения поправки на геометрические условия съемки, так как ширина одноименной линии эталона обусловлена только геометрическими условиями съемки – инструментальным фактором. Для этого предварительным отжигом добивались снятия микронапряжений в эталоне и обеспечения величины блоков D более 10^{-7} м.

На рисунке 2 представлены графики распределения остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненных слоев, полученных с использованием изучаемых составов насыщения при различных температурно-временных параметрах процессов ХТО.



1–цементация; 2–азотирование; 3–боросилицирование; 4–борирование
Рис. 2. Распределение остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненного слоя образцов стали 25ХГТ

Из графика видно, что в результате изменения удельных объемов при фазовых превращениях, различных коэффициентов линейного расширения материалов упрочненного слоя и основы металла возникают остаточные напряжения сжатия с большим градиентом по глубине поверхностного слоя, величина которого зависит от способа ХТО. Наибольших значений остаточные напряжения сжатия достигают при проведении борирования с температурой насыщения 1050°C . Для всех рассматриваемых составов и температурно-временных параметров поверхностного упрочнения максимальных значений остаточные напряжения достигают на поверхности образцов и уменьшаются при переходе к основе металла. При этом важно, чтобы переход к основе металла

осуществлялся без каких-либо скачков уровня остаточных напряжений сжатия. Было установлено, что с увеличением времени и температуры насыщения при проведении борирования и боросилицирования уровень остаточных напряжений сжатия повышается.

При этом с повышением температуры насыщения происходит увеличение уровня остаточных напряжений сжатия как на поверхности, так на глубине 150–200 мкм, что дополнительно повышает прочность и износостойкость упрочненного слоя.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о достаточно равномерном распределении остаточных напряжений сжатия по глубине слоя, особенно при упрочнении методом боросилицирования, что хорошо согласуется, как уже отмечалось, с распределением микротвердости и микрохрупкости по глубине поверхностного слоя. Можно высказать предположение, что у такого упрочненного слоя должна быть прочная связь с основой металла. Это важно для работы деталей, работающих при высоких динамических нагрузках, таких как конические передачи трелевочных тракторов.

Список литературы

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 240 с.
2. Остаточные напряжения при электромагнитной наплавке / П.Н. Ящерицын и др. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз-тэхн. навук. – 2000. – № 2. – С. 62-65.
3. Макаревич С.С. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов / С.С. Макаревич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 327–330.
4. Остаточные напряжения: учеб. пособие / Ж.А. Мрочек и др. – Минск, 2003. – С. 68-72.
5. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1970. – 368 с.

Сведения об авторах:

Пищов Михаил Николаевич – к.т.н., доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем, БГТУ, г. Минск;

Бельский Сергей Евграфович – к.т.н., доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем, БГТУ, г. Минск;

Царук Федор Федорович – к.т.н., доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем, БГТУ, г. Минск;

Сурус Анатолий Иванович – к.т.н., доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем, БГТУ, г. Минск;