

шие приведенные затраты наблюдаются при $Q = 7,5 \text{ м}^3$. С дальнейшим увеличением L_T наименьшие значения P_3 имеют место при объеме пачки $9,5 \text{ м}^3$. При $L_T = 20 \text{ км}$ P_3 для кривой 5 (рис. 3) меньше, чем для кривой 2 (рис. 3) примерно на 14%.

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы.

При работе с серийным технологическим оборудованием вес транспортируемой пачки, по условиям проходимости, не должен превышать 30–40 кН (трелевка комлями вперед).

При трелевке вершинами вперед вес пачки может быть доведен до 55 кН.

При работе трактора с прицепным технологическим оборудованием вес пакета хлыстов может быть доведен до 70–80 кН.

Выполненный расчет показал, что на один трелевочный трактор необходимо иметь следующее количество автомобилей: при $L_T = 5 \text{ км}$ — не менее 3-х; при $L_T = 10$ — не менее 2-х; при $L_T = 10–20 \text{ км}$ — 1 автомобиль. В этом случае обеспечивается вывозка за смену всей древесины.

Таким образом, рациональные режимы работы по такой технологической схеме имеют следующие параметры: при $L_T = 5–10 \text{ км}$: число тракторов — 1; число автомобилей — 3; рейсовая нагрузка — $7,5 \text{ м}^3$; основная транспортная скорость движения — 12,9 км/ч; при $L_T = 10–20 \text{ км/ч}$: число тракторов — 1; число автомобилей — 1; рейсовая нагрузка — $8,5 \text{ м}^3$; основная транспортная скорость — 11 км/ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет и проектирование специальных лесных машин/Под общ. ред С.Ф. Орлова. — Л.: ЛТА им. С.М. Кирова, 1973. — 150 с. 2. Жуков А.В., Рудницкий П.Ф., Сиданович В.А. Экспериментальная оценка плавности колесного трелевочного трактора. — В сб.: Механизация лесозаготовок и транспорт леса. Минск: Вышэйшая школа, 1979, вып. 8, 45–48.

УДК 539.43

Е.Г. МЕМЕЛОВА, канд.техн.наук, доцент (БТИ),
Б.И. АЛЕКСАНДРОВ, канд.техн.наук (ИНДМаш, АН БССР)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ СТАЛИ ПРИ ОСЕВЫХ ЦИКЛАХ НАГРУЖЕНИЯ

Все более возрастающий объем работ в области лесной промышленности требует применения высокопроизводительной техники, обладающей высокой надежностью и долговечностью.

Использование различных методов упрочняющей технологии при изготовлении деталей механизмов и машин лесозаготовительной промышленности позволяет значительно повысить их срок службы.

Недостаточное количество экспериментальных данных по усталостной прочности при осевых циклах нагружения и отсутствие этих данных для дета-

лей и образцов после поверхностного упрочнения [1, 2] затрудняет проведение расчета деталей машин на усталость.

В данной работе представлено несколько диаграмм предельных напряжений, построенных по экспериментальным данным.

В качестве материала для исследования была выбрана сталь марки 18Х2Н4ВА как одна из высокопрочных сталей наиболее широко используемая для изготовления высоконагруженных деталей. Испытания проводились на образцах квадратного сечения 8x8 мм с радиусом закругления кромок $r = 2$ мм и длиной рабочей части $l = 5$ мм. Образцы изготавливались из прутков $\phi 30 \times 650$ мм.

Прутки подвергались нормализации с температуры $950 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 3,5 часа, и высокому отпуску при температуре $640 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 6 час, охлаждение на воздухе. Дальнейшая термическая обработка проводилась по двум режимам:

I режим. Закалка с температуры $870 \pm 30^\circ\text{C}$, выдержка 3 ч, охлаждение 10

на воздухе, отпуск с температуры $170 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 3 ч, охлаждение на воздухе. Твердость образцов по Бринеллю после такой термической обработки была равной ($\phi 10 \times 3000$) 388...341.

II режим. Закалка с температуры $870 \pm 30^\circ\text{C}$, выдержка 3,5 часа, охлаждение 10

на воздухе и отпуск при температуре $560 \pm 20^\circ\text{C}$, выдержка 2 ч, охлаждение в воде. Твердость образцов по Бринеллю после высокого отпуска ($\phi 10 \times 3000$) 321...302.

После соответствующей термической обработки рабочее сечение шлифовали, а затем полировали в продольном направлении до 0,63/чистоты, после этого образцы подвергались различным видам поверхностного упрочнения.

Дробеструйному наклепу подвергались образцы после закалки и низкого отпуска дробью $d = 1... 1,5$ мм, время наклепа $\tau = 1,5$ мин на каждую сторону и дробью $\phi 0,8... 1,0$ мм при вращении, время наклепа 10 мин.

Гидродробеструйное упрочнение проводилось полированными шариками $d = 1,6$ мм и $d = 3,0$ мм при давлении масла 7 атм и времени наклепа 8 мин.

Азотированию подвергали окончательно изготовленные образцы после закалки и высокого отпуска по следующим режимам:

температура азотирования $490 \pm 5^\circ\text{C}$, выдержка 40 ч. Степень диссоциации аммиака составляет 15...35%, глубина азотирования 0,3...0,4 мм, твердость поверхности HV = 690...730.

Цементация проводилась по следующим режимам:

цементация: $t = 930^\circ\text{C}$, отпуск $t = 640^\circ\text{C}$, выдержка 1,5...2 ч, закалка при $t = 810^\circ\text{C}$ и отпуск при $t = 170^\circ\text{C}$, глубина цементации 1,0 мм, твердость HRC = 58...60. После цементации и нитроцементации поверхность образцов полировалась до чистоты 0,63/(снимался слой максимум 0,05 мм).

Испытания на усталость проводились при симметричном цикле растяжения-сжатия, при цикле растяжения, близком к пульсирующему ($\sigma_{\text{min}} = 40...90 \text{ Н/мм}^2$), при цикле сжатия, при постоянном коэффициенте ассимет-

рии $r = -5$. Кроме того, были проведены статические испытания при растяжении и при сжатии для определения статической прочности.

Для испытаний при осевых нагрузках были специально спроектированы и построены два типа вибрационных машин, которые позволили получать осевые нагрузки до 65000Н при частоте 1300...2500 циклов в мин [3].

По результатам испытаний построены диаграммы предельных напряжений (рис. 1.2), позволяющие определить оптимальную область применения поверхностного упрочнения в целях повышения усталостной прочности при осевых нагрузках.

При симметричном цикле растяжения-сжатия упрочнение поверхности дробью $\phi 1...1,5$ мм не только не дало положительных результатов по повышению предела усталости, но даже получено снижение σ_{-1} с 520 Н/мм² для

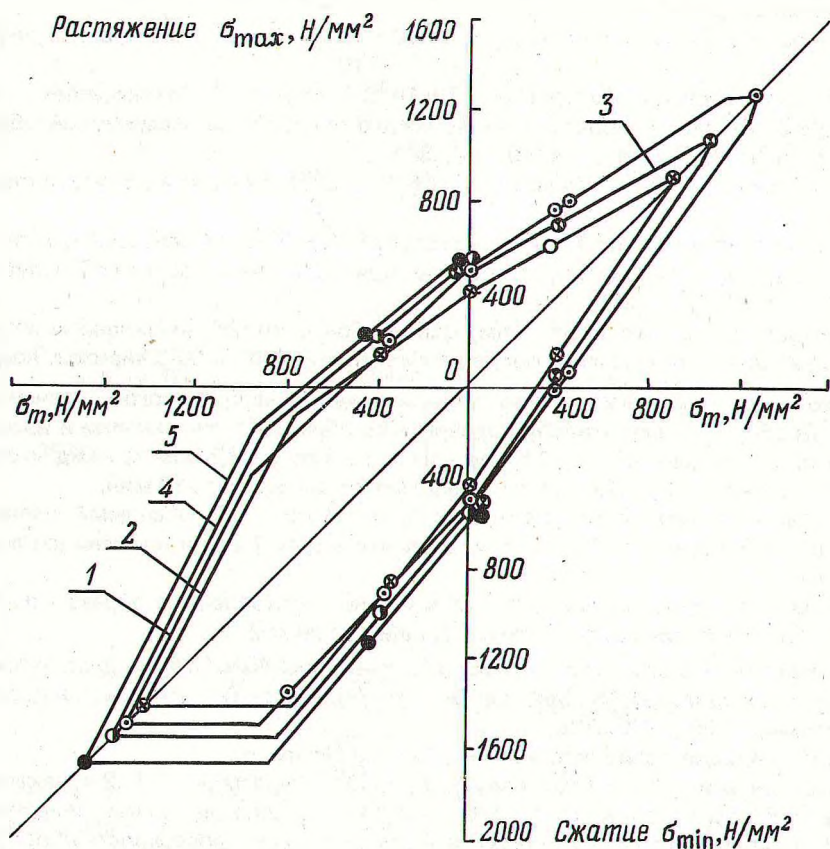


Рис. 1. Диаграммы предельных напряжений при асимметричных циклах осевого нагружения для стали 18X2H4BA:
 1 — закалка и низкий отпуск (полированные образцы); 2 — наклеп дробью $d = 1...1,5$ мм, время наклепа $\tau = 1,5$ мин; 3 — наклеп дробью $d = 0,8...1,5$ мм, время наклепа $\tau = 10$ мин при вращении; 4 — гидродробеструйный наклеп полированными шариками $\phi 3,0$ мм; 5 — гидродробеструйный наклеп полированными шариками $\phi 1,6$ мм.

полированных образцов до $410\text{--}430\text{ Н/мм}^2$, а после упрочнения дробью $d = 0,8\text{--}1,0$ мм образцы имеют предел выносливости $\sigma_{-1} = 510\text{ Н/мм}^2$.

При цикле растяжения и при статическом растяжении образцы, наклепанные дробью, тоже показали снижение усталостной прочности.

Предел выносливости при симметричном цикле растяжения-сжатия после гидродробеструйной обработки шариками $d = 1,6$ мм увеличился с 520 Н/мм^2 (для полированных) до 575 Н/мм^2 , а после гидродробеструйной обработки шариками $d = 3,0$ мм до $\sigma_{-1} = 550\text{ Н/мм}^2$.

Разрушение наклепанных дробью образцов началось с поверхности, тогда как после гидродробеструйной обработки шариками $d = 3,0$ мм разрушение у большинства образцов началось с поверхности, но были разрушения и внутри, а после гидродробеструйной обработки шариками $d = 1,6$ мм усталостное разрушение образцов начиналось как снаружи, так и в подслоной зоне, что свидетельствует о достижении равнопрочности наружных поверхностных слоев материала и подслоной зоны.

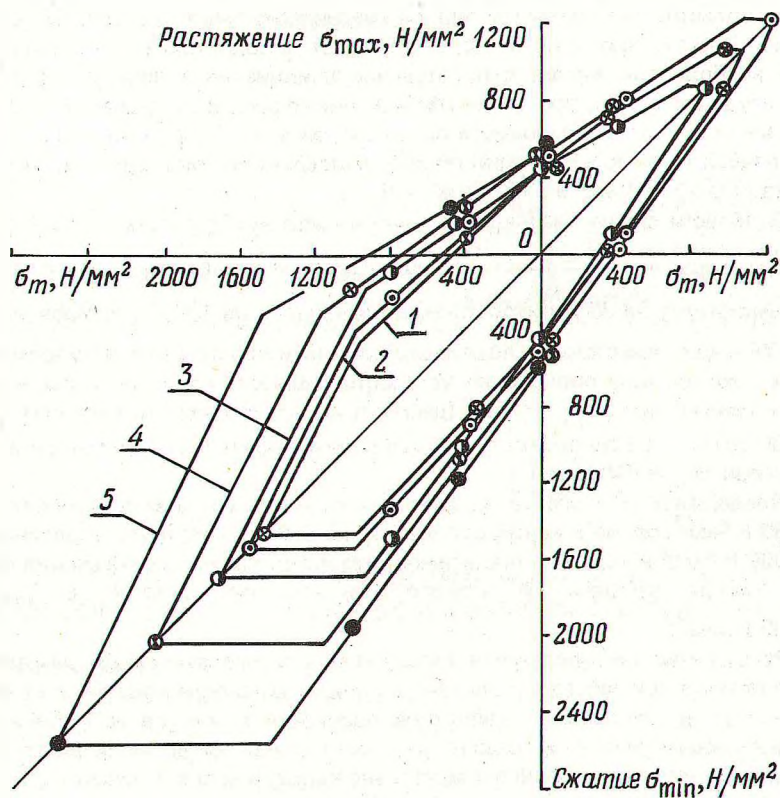


Рис. 2. Диаграммы предельных напряжений при асимметричных циклах осевого нагружения для стали 18Х2Н4ВА:
1 — закалка, высокий отпуск; 2 — закалка, низкий отпуск; 3 — азотирование на глубине 0,3 мм; 4 — нитроцементация на глубине 0,6 мм; 5 — цементация на глубине 1,0 мм.

Данные экспериментов показывают, что усталостная прочность дробеструйных и гидродробеструйных образцов в большой степени зависит от высоты микронеровностей поверхности после упрочнения, так как остаточные напряжения этих видов обработки имеют тенденцию снижаться к поверхности, в этом случае высота микронеровностей имеет большое значение. Было установлено, что с уменьшением высоты микронеровностей R_z после поверхностного упрочнения предел выносливости σ_{-1} увеличивается в пределах замеренной частоты $R_z = 2...32$ мкм по линейному закону: $\sigma_{-1} = 60,5 - 0,60 R_z$.

При цикле сжатия понижения усталостной прочности в результате дробеструйного наклепа не наблюдается, гидродробеструйный наклеп полированными шариками повысил усталостную прочность по наибольшему напряжению цикла сжатия с 905 Н/мм^2 для полированных образцов после низкого отпуска до 1000 Н/мм^2 (наклеп шариками $\phi 3,0$ мм) и до 1100 Н/мм^2 (наклеп шариками $\phi 1,6$ мм).

В области растяжения и при симметричном цикле растяжения-сжатия применение азотирования не только не дает положительных результатов, а даже наоборот оказывает отрицательное влияние на величину предельных амплитуд цикла. Так, при симметричном цикле растяжения-сжатия после азотирования предел выносливости оказался равным $\sigma_{-1} = 490 \text{ Н/мм}^2$. После цементации и нитроцементации предел выносливости оказался равным соответственно 565 Н/мм^2 и 535 Н/мм^2 [4].

В области сжатия наблюдаем другую картину. При испытании образцов на сжатие при $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = -5$ цементированные образцы имеют предельную амплитуду на 30%, нитроцементированные — на 20%, а азотированные — на 13% выше, чем образцы после закалки и низкого отпуска без упрочнения. Такая же картина повышения усталости наблюдается и при испытании по циклу сжатия при $\sigma_m = \text{const}$ (цементированные испытывались при $\sigma_m = 1000 \text{ Н/мм}^2$, азотированные и образцы без упрочнения — после низкого отпуска при $\sigma_m = 810 \text{ Н/мм}^2$).

Предельные статические напряжения сжатия азотированных образцов — на 150 Н/мм^2 , нитроцементированных — на 550 Н/мм^2 , цементированных — на 1000 Н/мм^2 выше, чем предельное статическое напряжение сжатия образцов после закалки и низкого отпуска, для которых $\sigma_{\text{стат.сж}} = 1500 \text{ Н/мм}^2$.

Разрушение азотированных образцов при симметричном цикле растяжения-сжатия и при цикле растяжения начиналось непосредственно под упрочненным слоем, снижение усталостной прочности в этом случае объясняется отрицательным влиянием реактивных остаточных напряжений растяжения, которые после азотирования значительно выше, чем после цементации и нитроцементации, а также меньшей прочностью внутренних слоев металла (после азотирования сердцевина имеет структуру сорбита).

Очаги разрушения образцов после цементации и нитроцементации появились по всей сердцевине, в этом случае влияние остаточных напряжений растяжения меньше, мартенситная структура лучше сопротивляется усталостному разрушению, поэтому имеет место повышение усталостной прочности при

симметричном цикле растяжения-сжатия в результате цементации и нитроцементации.

При цикле асимметричного сжатия разрушение образцов, упрочненных как методами пластического деформирования, так и методами химико-термического упрочнения, происходит в плоскости максимальных касательных напряжений под углом 45° к оси образца. Более значительное повышение усталостной прочности при циклическом сжатии, чем при симметричном цикле растяжения-сжатия, объясняется тем обстоятельством, что при цикле сжатия имеет место разрушение в плоскости максимальных касательных напряжений, в этом случае влияние остаточных напряжений после поверхностного упрочнения и в том числе напряжений растяжения в сердцевине, сказывается незначительно, а эффект упрочнения определяется главным образом повышением сопротивления поверхностного упрочненного слоя.

Таким образом, диаграммы предельных напряжений при асимметричных циклах осевого нагружения образцов из стали 18Х2Н4ВА после различных видов поверхностного упрочнения позволяют выбрать оптимальный вид упрочнения при заданном цикле осевого нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. О д и н г И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. — М.: Mashgiz, 1962. — 259 с. 2. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдорович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. — М.: Машиностроение, 1975. — 488 с. 3. Мемелова Е.Г. Машина ВИМ-16 для испытания деталей и образцов на выносливость при цикле сжатия. — В сб.: Вопросы оценки усталостной долговечности материалов и деталей машин. Минск: ЭНИИМАШ АН БССР, 1968, с. 75—80. 4. Александров Б.И., Мемелова Е.Г. Усталостная прочность стали 18Х2Н4ВА после термической и химико-термической обработок. — Металловедение и термическая обработка металлов. — М.: Машиностроение, 1971, № 3, с. 51—53.

УДК 629.114.457.5

А.И. СМЕЯН, канд.техн.наук, профессор,
А.Ф. ТИХОНОВ, А.И. ГОРОНОВСКИЙ, инженер (БТИ)

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПОДВЕСКИ ПРИЦЕПА-РОСПУСКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА

Эффективность использования лесовозных автопоездов может быть оценена при помощи основных показателей — величины технической скорости движения, среднегодовой производительности, пробега и наиболее общего показателя — приведенных затрат на перевозку, представляющих собой сумму эксплуатационных расходов и годового эффекта использования капитальных вложений, отнесенных к единице транспортных расходов.

Для подсчета критериев эффективности были использованы данные, полученные путем анализа работы лесовозного автотранспорта в Бобруйском ОЛПХ. Здесь проходили производственные испытания прицеп-ропуск с ресорно-балансирной подвеской. Данные этих испытаний позволили сравнить