

ПОВЕРХНОСТНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

При знакопеременной нагрузке разрушение упругих элементов может происходить постепенно при напряжениях, значительно меньших пределов прочности. Этот процесс постепенного разрушения металла, обычно называемый усталостным, заключается в том, что наиболее нагруженные участки претерпевают микродеформации, приводящие к местному деформационному упрочнению. Со временем в этой зоне возникают микротрещины, которые, постепенно развиваясь, приводят к полному разрушению металла. Поэтому одним из основных требований, предъявляемых к упругим элементам, а следовательно, и к пружинным материалам, из которых они обычно изготавливаются, является сопротивление малым пластическим деформациям в условиях длительного переменного нагружения. Возможность сопротивляться малым пластическим деформациям зависит не только от химического состава нагруженного сплава и его термической обработки, но и во многом от технологии получения деформирующего элемента и, в частности, от методов окончательной обработки его поверхности.

Неравномерное распределение напряжений и деформаций, обусловленное неравномерным нагревом, действием сил контактного трения, неоднородностью химического состава и механических свойств металла заготовки, неравномерным остыванием заготовки после деформации и термообработки, снижает эксплуатационные характеристики упругих элементов, усталостную прочность и ударную вязкость, коррозионную стойкость, вызывает поводку и коробление, особенно длинных и узких полос, применяемых в автомобильных подвесках.

Для рессорных листов, твердость которых составляет 42–52 HRC, во всех странах мира применяют дробеструйную обработку. Основные недостатки этого метода – низкая производительность, невозможность регулирования толщины упрочняемого слоя и его механи-

ческих свойств, необходимость постоянной очистки, сортировки и обновления дроби, а также наличие пыли, шума и вибрации. С целью устранения этих недостатков предложен принципиально новый способ поверхностного упрочнения упругих элементов подвески транспортных средств, в частности мало- и многолистных рессор автомобилей МАЗ.

Сущность способа заключается в прокатке сформованного и термообработанного листа рессоры в профилированных определенным образом валках. При этом в очаге деформации поверхностного слоя возникает напряженное состояние всестороннего сжатия. Снятие остаточных растягивающих напряжений и поверхностное упрочнение рессорной полосы осуществляются только с одной стороны. Поэтому и инструмент для обработки полос рессор обеспечивает поверхностную пластическую деформацию с одной стороны и упругую – с другой.

Наиболее полно указанным требованиям удовлетворяет процесс продольной прокатки между двумя валками, один из которых имеет гладкую рабочую поверхность, а другой – винтовую с профилем, показанным на рис. 1. При прокатке в валках, один из которых является гладким, а второй имеет профильную винтовую нарезку, поверхностная пластическая деформация происходит при контакте полосы с профилированным валком, а при контакте с гладким – только упругая.

Полное давление, необходимое для внедрения клина в полосу:

$$P = 2ph_x l_x \sin \gamma,$$

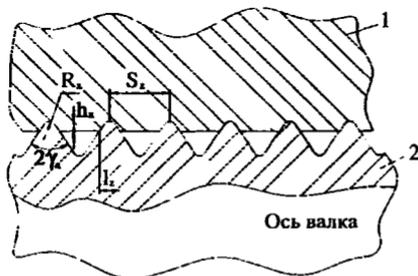


Рис. 1. Схема взаимодействия полосы (1) с профилированным валком (2)

где $p = \sigma_m(1 + \varphi)$ – нормальное контактное напряжение; l_x – длина дуги контакта.

Из уравнения видно, что давление, необходимое для внедрения клина, зависит от его угла γ и глубины внедрения h_x . С уменьшением γ давление снижается, однако оптимальную величину γ следует выбирать исходя из стойкости инструмента.

При прокатке полосы между профилированным и гладким валком пластическая деформация возникает при внедрении клиновидного профиля в полосу. Металл полосы течет, как видно из рис. 2, в зазор между клиньями, обжимается по высоте в результате внедрения клина в полосу, а также в продольном направлении.

Таким образом, в очаге деформации, примыкающем к рифленому валку, в поверхностном слое возникает напряженное состояние всестороннего сжатия. Если предшествующая пластическая деформация вызвала в поверхностном слое растягивающие остаточные напряжения, то такой деформацией они могут быть в различной степени уменьшены или их знак может быть изменен на обратный.

После прокатки между профилированным и гладким валком полоса будет иметь профиль, показанный на рис. 3, *а*. По всему рифленому контуру полосы будут действовать сжимающие напряжения. Для увеличения их необходимо провести последующую прокатку с обжатием Δh_x в гладких валках. В обоих случаях прокатка осуществляется в холодном состоянии. Металл полосы предварительно подвергается закалке и среднему отпуску. После такой обработки твердость составляет 42–45 HRC, пластичность металла низкая. Однако всестороннее сжатие при обработке в соответствии с теорией пластичности резко повышает пластичность и позволяет, как показали предварительные исследования, производить поверхностное пластическое деформирование на глубину до 0,8 мм, что в 2–3 раза превышает необходимую.

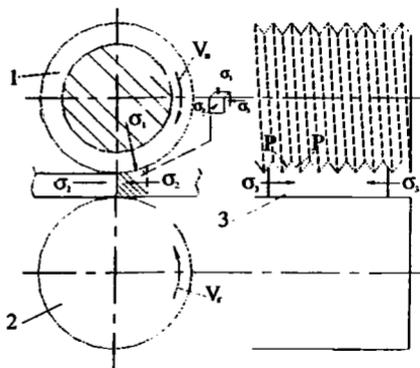


Рис. 2. Схема кинематического и напряженного состояния: 1 – рифленый валок; 2 – гладкий валок; 3 – полоса

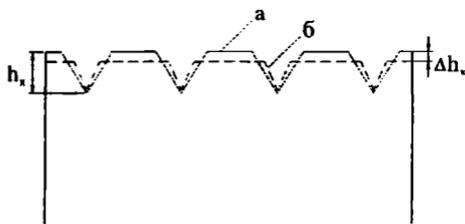


Рис. 3. Поперечное сечение полосы после прокатки между рифленым и гладким (*а*), а затем между двумя гладкими валками (*б*)

Основными технологическими параметрами при таком способе обработки являются шаг винтового профиля S_z , угол клина 2γ , глубина внедрения h_x и величина Δh_x последующей прокатки в гладких валах. Шаг винтового профиля в процессе экспериментальных исследований изменяется от 1,0 до 3,0 мм, что позволяет изменять площадь обработанной поверхности полосы, глубина внедрения – от 0,1 до 0,4 мм; угол клина от 30 до 120° и $\Delta h_x = 0,1-0,4h_x$.

В описанных выше способах после обработки на поверхности полосы остаются следы от рифленого вала в виде канавок. Наличие их повышает усталостную стойкость полосы, так как после зарождения трещины она будет локализована на этих углублениях, потому что растягивающие напряжения, возникающие при рабочем изгибе рессоры, будут по величине меньше в углублениях, чем в вершинах.

Рассмотрим влияние поверхностной пластической обработки на микроструктуру и свойства образцов из пружинно-рессорной стали 50ХГФТ. Исследованиям подвергались образцы:

закаленные в заневоленном состоянии и отпущенные по технологии Минского рессорного завода;

обработанные по новому способу предварительно закаленные в заневоленном состоянии и отпущенные.

Закалка и отпуск образцов проводились на базе Минского рессорного завода по типовой технологии. Химический состав материала образцов представлен в таблице.

Элементный состав образцов, %

Марка	C	Si	Mn	Cr	V	Ni	Cu	P	S
50ХГФА	0,441	0,279	0,870	1,08	0,194	0,086	0,07	0,009	0,030

Химический анализ состава материала образцов проводился на приборе «Спектролак М-5».

Микроструктурные исследования проводили на поперечном и продольном сечении образцов. Для этой цели на указанных сечениях по стандартной методике изготавливали шлифы. Выявление микроструктуры материала осуществляли методом окисления в реактив-

ных средах, в качестве которых использовали травители: 4%-ный раствор азотной кислоты в спирте и 4%-ный раствор пикриновой кислоты в спирте. Определение твердости образцов проводили на приборе ТК алмазным конусом по методу Роквелла.

Для определения микротвердости использовали прибор ПМТ-3. Нанесение отпечатка производили вдавливанием алмазной пирамиды под нагрузкой 0,2–0,5 кг. Микроструктурные исследования проводили на приборах «Neofot 24» и «Микро-200». Средние значения твердости исследуемых и отпущенных образцов составили 42–45 HRC.

Микроструктура закаленных и отпущенных образцов представлена на рис. 4. У поверхности образца имеется обезуглероженный слой с ферритной структурой толщиной до 80 мкм. Размер зерен феррита 8 мкм. Микротвердость феррита 2040 HV. За зоной обезуглероживания следует зона со структурой бейнита и небольшим количеством ферритных зерен. Толщина зоны составляет 938–1200 мкм. Микротвердость поверхностного феррита 2400 HV, бейнита 3400 HV. Микроструктура центральной части полосы – скрытокристаллический мартенсит с размерами бывших аустенитных зерен у поверхности 8 мкм, в центре 19 мкм. Микротвердость мартенсита 6620 HV. В центральной зоне образцов на срезе скрытоиглочатого мартенсита выявляются участки крупно- и мелкоиглочатого бейнита в виде сильно травящихся игл, которые в плоскости шлифа располагаются



х 400



х 2000(центр)

Рис. 4. Микроструктура рессорных полос стали 50ХГФА после стандартной термообработки (закалка и отпуск)

полосами параллельно верхней и нижней поверхностям, – так называемые ликвации.

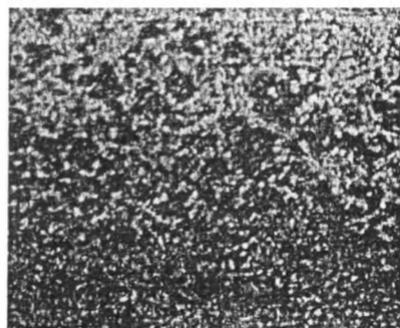
Способ обработки поверхности предполагает нанесение на поверхность при помощи накатки ряда параллельных полос, в поперечном сечении имеющих вид треугольных углублений (рис. 5). Глубина рельефа достигает 90 мкм. В результате нанесения рельефа изменяется глубина проникновения переходной бейнитной структуры в толщину обрабатываемого образца. Глубина такого проникновения согласуется с усилением нанесения поверхностного рельефа. Так, при нагрузке на валки 2,85 т толщина бейнитной зоны составляет 900 мкм, при нагрузке 12,5 т – 930–1500 мкм, при нагрузке 22,0 т – 1750–2300 мкм.

Были проведены исследования по влиянию давления металла P на валки при упрочнении полос из стали 50ХГФА сечением 8×60 мм и длиной 600 мм. Полосы были подвергнуты закалке (850 °С) в масле с последующим отпуском при температуре 420 °С. Поверхностную обработку производили рабочим валком с метрическим винтовым профилем ($S = 2$ мм) и опорным с шагом метрического профиля 1,25 мм.

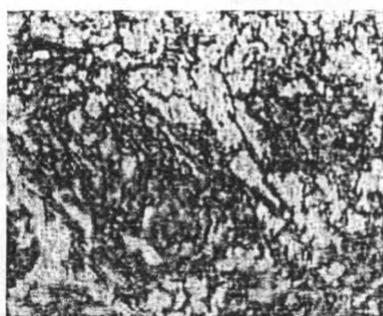
Валки изготавливались из стали Р6М5, твердость после термообработки 64 HRC. Скорость обработки составляла 2,5 м/с. Полосы перед термообработкой были подвергнуты формовке по дуге окружности с максимальной стрелой изгиба посередине 26–27 мм, т. е. представляли собой рабочий лист многолистовой стандартной рессоры. После обработки полосы подвергали испытаниям на сравнительную циклическую прочность на стенде. Амплитуда перемещения центральной части от спрямленного состояния в одну и другую сторону составляла 20 мм. Расстояние между опорами 550 мм. Для сравнения испытывали аналогичные образцы рессор после дробеструйной обработки. Результаты испытаний представлены на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что с увеличением давления на валки усталостная прочность полосы повышается до определенного предела, а затем падает. Как показал анализ усталостного разрушения образцов, подвергнутых обработке при давлении на валки 17,3 т, оно имеет многофрагментарный профиль с признаками хрупкого разрушения. Это указывает на то, что под действием такой нагрузки деформация происходит по всей толщине полосы с образованием микротрещин.

a



x400

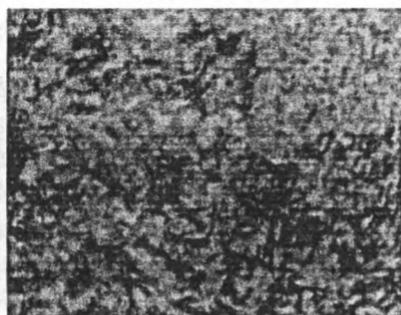


x2000

б

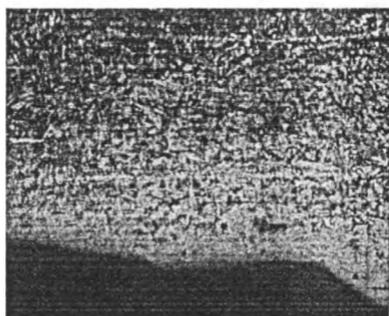


400

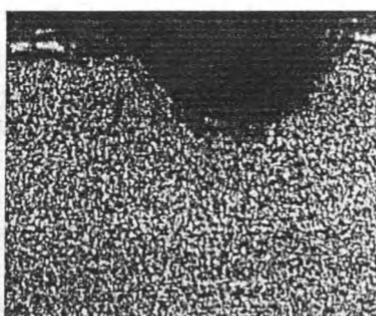


x2000

в



x400



x 400

Рис. 5. Микроструктура образцов рессорных полос без нанесения рельефа и с рельефом: *a* – на расстоянии 70 мкм от рабочей поверхности образцов; *б* – середина рессорной полосы; *в* – поверхность образцов с нанесенным рельефом

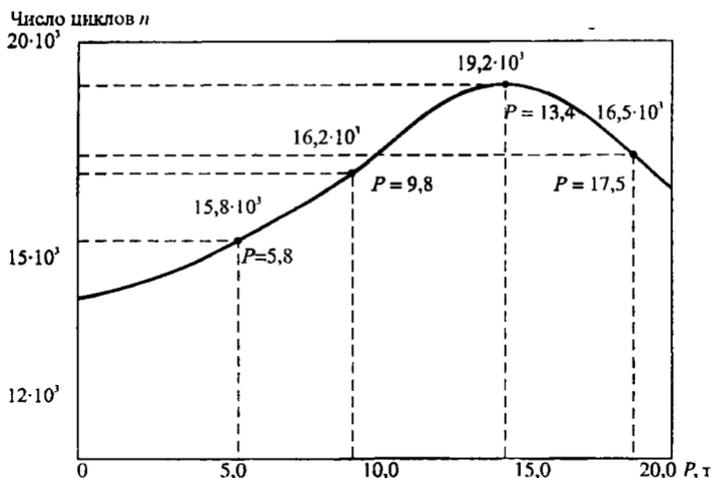


Рис. 6. Зависимость усталостной прочности образцов от давления на валки

Максимальное повышение усталостной прочности составляет 42% и достигается при однократном пропуске полосы между валками с винтовым профилем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Северденко В. П. Основы теории прокатки. – Минск: Наука и техника, 1969.
2. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. – М.: Metallургия, 1980.
3. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – М.: Metallургия, 1970.
4. Бернштейн М. Л., Рахштадт А. Г. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. – М.: Metallургия, 1961.