

Клубович В.В., Томило В.А., Хрущев Е.В.

## УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА РЕССОР

### Направления и методика проведения исследований.

Мировой опыт и собственные предварительные исследования показали, что основным способом высокопроизводительного и управляемого процесса упрочнения листов постоянной и переменной толщины является прокатка в валках, один из которых имеет рифленую поверхность. В этом случае нижняя часть полосы, соприкасающаяся с гладкой поверхностью вала, не будет деформироваться, а вершины рифления верхнего вала будут вдавливаться в поверхность полосы на регулируемую высоту. При такой обработке гарантируется изменение остаточных напряжений и упрочнение металла в местах вдавливания рифления и отсутствие изменений на недеформируемых участках.

Теоретический анализ [1], накопленный практический опыт и положительные результаты предварительных экспериментальных исследований позволяют сформулировать три основных направления исследований:

1. Нанесение на поверхности термообработанного листа рельефа определенной формы, глубины и площади путем прокатки на первом этапе и прокатка в гладких валках с определенной степенью деформации – на втором.

2. Нанесение рельефа на поверхности полосы по пункту 1 при прокатке полосы в горячем состоянии, термообработки и прокатка в гладких валках.

3. Прокатка термообработанной полосы в валках, один из которых имеет специальную форму рифления, обеспечивающую упрочнение и сдвиг поверхностного слоя металла.

При применении первых двух способов на поверхности полосы остаются следы от рифления небольшой глубины, такие же как и после дробеструйной обработки. При применении третьего способа наряду с упрочнением происходит очистка поверхности полосы от всевозможных дефектов.

Основным методом достижения поставленной в работе цели является дискретная поверхностная пластическая деформация листовых заготовок постоянного (для многолистовых рессор) и переменного (для малолистовых рессор) сечения методом прокатки. При этом рабочая поверхность одного из валков имеет специальное рифление, которое при определенной нагрузке обеспечивает пластическое вдавливание рифлений в поверхность обрабатываемой полосы, в то время как другой валок, имеющий гладкую поверхность, лишь упруго деформирует обратную сторону полосы.

Регулируя форму рельефных выступов, глубину их внедрения и суммарную площадь, можно в различной степени изменять интенсивность пластического течения поверхностного слоя. Однако прямое применение указанного метода не гарантирует получение требуемых показателей, т.к. во впадинах будут формироваться сжимающие напряжения, а на поверхностях полосы, не подвергнутых дискретной пластической деформации, будут оставаться растягивающие напряжения. Поэтому после дискретной деформации необходимо осуществить пластическое деформирование необработанных участков путем дробной прокатки между гладкими валками. Чтобы не проводить двойную прокатку полосы и обеспечить обработку всей поверхности полосы рифлеными валками за один проход, необходимо обеспечить сдвиг рабочей поверхности валков относительно поверхности полосы.

Для проведения исследований были использованы полосы из стали 55ХГФА для производства малолистовых рессор и из стали 60С2А — многолистовых.

После термообработки часть листов подвергалась дробеструйной обработке и вторая часть – поверхностному упрочнению. Собранные рессоры проходили ускоренные испытания на стендах МАЗа, по результатам которых была оценена эффективность различных способов упрочнения и выбраны наиболее эффективные.

Приспособление для моделирования процесса упрочнения. Кинематическая схема приспособления представлена на рис. 1. Приспособление включает рабочую клетку 1 с установленными в ней валками, один из которых 2 имеет винтовую нарезку, а второй 3 является гладким. Зазор между валками регулируется винтами 6.

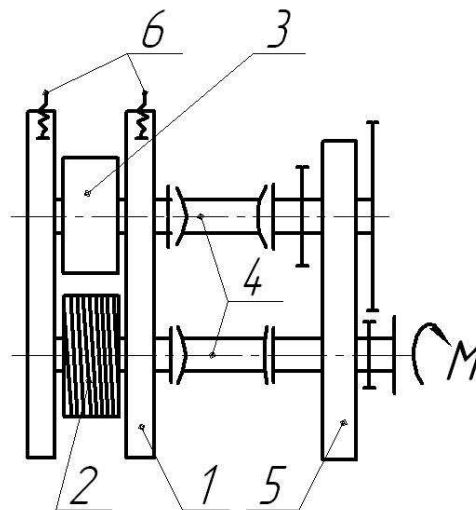


Рис. 1. Схема приспособления

Валки при помощи карданных валов 4 соединены с шестеренной клетью 5, позволяющей производить ступенчатое рассогласование окружных скоростей от 1 до 6. Путем смены шестерен на 4-х валах шестеренной клетки. Привод шестеренной клетки осуществляется от отдельного привода. Для изменения давления металла на валки при прокатке под нажимными винтами 6 установлены месдозы. Приспособление и инструмент позволяют производить моделирование процесса упрочнения рессор тремя предложенными способами.

Экспериментальное исследование вариантов упрочнения. Основная цель экспериментальных исследований состояла в определении диапазона оптимальных параметров обработки поверхности листов рессор по трем вариантам, необходимым для разработки экспериментальной технологии упрочнения и составления технологического задания на проектирование экспериментальной установки. Для исследования использовали полосы из стали 50ХГФА сечением 8х60мм и длиной 600мм. Полосы подвергали закалке от температуры 850 С охлаждением в масле и с последующим отпуском при температуре 420 С°. Твердость после термообработки составила HRC 42-44. по-

Клубович Владимир Владимирович, д.т.н., проф., академик НАН Беларуси, главный научный сотрудник ИТА НАН Беларуси.  
Томило Вячеслав Анатольевич, к.т.н., зав. НИЛ пластичности НИЧ Белорусского национального технического университета.  
Хрущев Евгений Викторович, аспирант, младший научный сотрудник НИЛ пластичности НИЧ Белорусского национального технического университета.

верхнюю обработку проводили валками, один из которых был гладкий, а второй - с винтовым профилем [2].

**Результаты исследования микро- и макроструктуры упрочненных образцов.** Микроструктурные исследования проводили на поперечном и долевом сечениях рессорных полос. Для этой цели на указанных сечениях по стандартной методике приготавливали шлифы. Определение твердости рессорных полос проводили на приборе ТК алмазным конусом по методу Роквелла на не зачищенных поверхностях при нагрузке 150кг. Для определения микротвердости использовали прибор ПМТ-3. Нанесение отпечатка производили вдавливанием алмазной пирамиды под нагрузкой 0,2 - 0,5кг на подготовленной поверхности (шлиф). Выявление микроструктуры материала осуществляли методом окисления в реактивных средах, в качестве которых использовали: 2 - 4% раствор азотной кислоты в спирте и 4% раствор пикриновой кислоты в спирте. Микроструктурные исследования проводили на приборах «Neofot 24» и «Микро 200». Анализ напряженного состояния осуществляли на приборе ДРОН 3. Характер изломов после испытаний на циклическую прочность определяли на РЭМ.

Средние значения твердости рессор 50ХГФА по верхней поверхности составили: для стандартных -33HRC, опытных - 39HRC. По нижней поверхности 27HRC и 29HRC соответственно. Надо полагать, что данные значения твердости обусловлены наличием окалины и обезуглероживанием поверхности.

Микроструктура образцов рессорных полос из стали 50ХГФА без рельефа представлена на рис. 2. У поверхности полосы имеет место обезуглероживанный слой с ферритной структурой. Величина зоны обезуглероживания составляет до 80мкм. Размер зерен феррита 8мкм. Микротвердость феррита 2040МПа. За зоной обезуглероживания следует зона со структурой бейнита и небольшим количеством ферритных зерен. Толщина зоны составляет 938-1200мкм. По мере удаления от поверхности ферритная фаза исчезает, а размер зерен бейнитной составляющей увеличивается до 19мкм. Значение микротвердости поверхностного феррита 2400МПа, бейнита - 3400МПа. Микроструктура центральной части полосы - скрытокристаллический мартенсит с размером бывшего аустенитного зерна: вблизи поверхности 8мкм, в центре-19 мкм. Микротвердость мартенсита 6620МПа. В центральной зоне на фоне скрытоиглового мартенсита выявляются участки крупно- и мелкоиглового бейнита в виде сильно травящихся игл, которые в плоскости шлифа располагаются полосами параллельно верхней и нижней поверхностям - так называемые полосы ликвации. Наличие полос ликвации обусловлено технологическими условиями изготовления рессорных полос, в том числе, прокаткой.

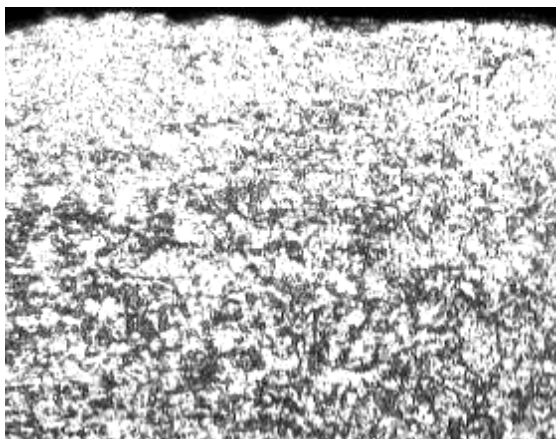


Рис. 2. Микроструктура рессорной полосы стали 50ХГФА

При нанесении рельефа на поверхности опытных образцов образуются параллельные линии вдавливания. Чем выше величина усилия (Р) нанесения рельефа, тем меньше расстояние между этими линиями. При усилии Р=2887.5 кг расстояние между линиями рельефа составляет 1775 мкм, при Р= 12705 кг расстояние - 1750 мкм, а при Р=22330 кг - 1725 мкм. В поперечном сечении рессор линии вдавливания имеют вид ямок (рис. 3). Глубина ямки достигает 90 мкм. В соответствии с усилием воздействия изменяется микроструктура ближайших слоев. Так, при деформации усилием Р=2887.5 кг толщина бейнитной зоны составляет порядка 900 мкм, при Р=12705 кг - 930-1500 мкм, Р=22330 кг - 1750-2300мкм. Эти данные свидетельствуют о проявлении процесса смещения приповерхностных структурных зон в глубинные слои.

Микроструктура образцов с нанесенным на поверхности рельефом представлена следующими структурными составляющими. Обезуглероживание с поверхности составляет менее 50мкм и не постоянно вдоль поверхности полосы. Размер ферритных зерен в обезуглероживанном слое 8мкм. Микротвердость феррита 2580-2850МПа. Переходная зона представлена микроструктурой бейнита. Толщина бейнитной зоны, как по длине, так и по ширине рессорной полосы, неравномерная. Данный факт объясняется условиями изготовления полос, в т.ч. закалкой в заневоленном состоянии. Размер зерен бейнитной фазы колеблется от 8 до 19мкм. Микротвердость составляет 3400 - 4800МПа. Поскольку величина переходной зоны со структурой бейнита различная для всех исследуемых опытных образцов, количество структуры центральной части - мартенсита - также различное. Мартенсит скрытоиглового микротвердостью 6000-7700МПа. Для всех структур имеет место наличие полос ликвации, в которых бейнитная составляющая крупноиглового.

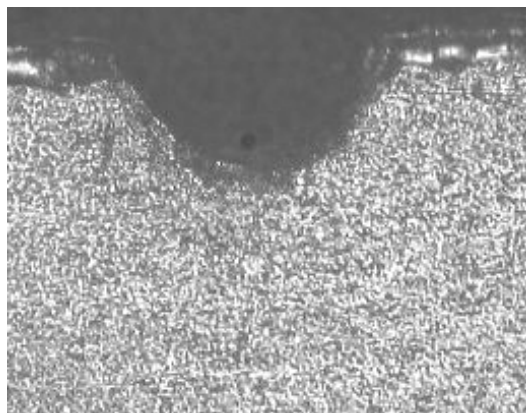


Рис. 3. Микроструктура рессорной полосы стали 50ХГФА с нанесенным рельефом

Из данных микроструктурного анализа следует, что основной структурной составляющей рессорных полос из стали 50ХГФА является мартенсит. Структура по толщине рессорной полосы слоистая: полосы скрытоиглового мартенсита чередуются с полосами крупноиглового (верхнего) бейнита. После отпуска закаленной стали структура дисперсного нижнего бейнита образуется только вдоль верхней поверхности рессорной полосы и занимает максимум ¼ часть от общей площади поперечного сечения, остальная часть сечения имеет структуру мартенсита.

График значений микротвердости по толщине рессорных полос представлен на рис. 4.

Поскольку чередование рельефных линий на верхней и нижней поверхностях рессорных полос регулярное, интерес представляет изменение микроструктуры приповерхностных слоев в участках между данными линиями (насечками). Значения микротвердости, в данном случае, характеризуют не

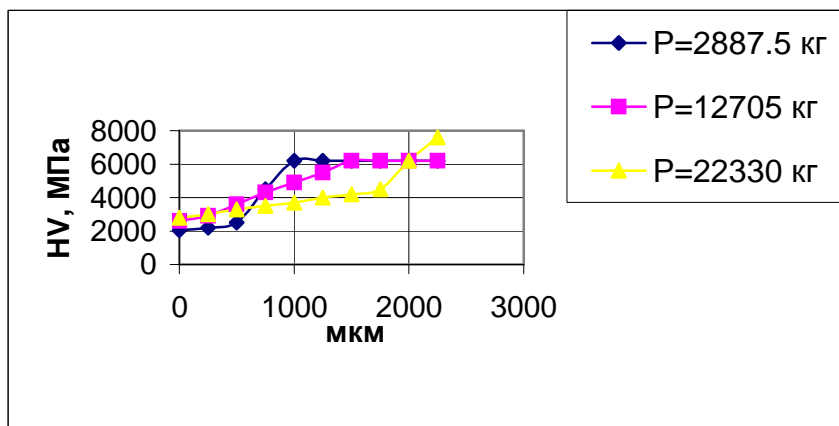


Рис. 4. Изменение микротвердости по толщине рессорных полос стали 50ХГФА в зависимости от усилия нанесения рельефа

различие по структурам, а микро- субструктурные изменения конкретной фазы. При максимальном усилии нанесения рельефа  $P=22330$ кг расстояние между насечками вдоль верхней части полосы составляет 1725мкм с максимумом микротвердости (4600 МПа), расположенном на расстоянии порядка 875-1200мкм, т.е. практически посередине между насечками. При усилии нанесения рельефа  $P=12705$ кг расстояние между насечками составляет 1750 мкм, максимальное значение – 3200МПа, и пик смещен влево. А при  $P=2887.5$ кг и расстоянии между насечками 1775мкм максимум микротвердости достигает 2850МПа со смещением вправо. Смещение пиков значений при постоянном характере графиков обусловлено сдвиговой деформацией.

Для нижней поверхности рессор расстояние между насечками составляло порядка 900мкм. Максимальное значение микротвердости 5220-4030МПа. Пик максимума для всех образцов отвечает середине между насечками. Величина значений микротвердости возрастает с увеличением усилия нанесения рельефа.

#### **Выводы**

Повышение стойкости опытных рессорных полос при испытаниях на усталостную прочность обусловлено нанесением

линий макрорельефа, однако влияние усилия нанесения рельефа сказывается только при значительной деформации нагружения  $P=12705$  и  $22330$  кг.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Степаненко В.А., Томило В.А. Способы перераспределения остаточных напряжений в упругих элементах подвески транспортных средств // Прогрессивные технологии обработки металлов давлением: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика АН БССР В.П.Северденко. – Мн., 2004. – С.60-65.
2. Дмитриевич Д.И., Румянцев И.Н., Томило В.А. и др. Схемы поверхностной пластической деформации и их влияние на структуру и свойства рессорно-пружинных сталей // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию Физико-технического института НАН Беларуси – Мн., 2006. – С. 331-338.

Статья поступила в редакцию 29.10.2007

УДК 621.771.63

**Клубович В.В., Томило В.А.**

## **ТЕХНОЛОГИИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОКАТКИ ЗАГОТОВОК МАЛОЛИСТОВЫХ РЕССОР**

**Введение.** Автомобилестроение на сегодняшний день основной потребитель черных и цветных металлов. Оптимальный путь увеличения объема производства и повышения качества выпускаемой продукции при ограниченных природных ресурсах – разработка новейших технологий, позволяющих повысить ресурс машин, узлов и агрегатов при минимальной их металлоемкости. Большие возможности в этом отношении имеет периодическая прокатка, которая позволяет максимально приблизить размеры и форму заготовки к геометрическим параметрам самого изделия. При этом значительно повышается коэффициент использования материала, снижается себестоимость выпускаемой продукции, увеличивается производительность, сокращается количество кузнечно-штамповочного оборудования и технологической оснастки.

Достаточно ощутимыми оказались достижения периодической прокатки в рессорном производстве, а точнее при изготовлении малолистовых рессор, широко применяемых в последнее время в различных транспортных средствах. До-

статочно сказать, что практически все автомобильные заводы США, Англии, Франции, Германии, Японии и других развитых стран применяют рессорную подвеску, изготовленную из листов переменной толщины. Это позволяет снизить массу каждой рессоры в среднем на 30%, а долговечность повысить в среднем более чем 1,5 раза по сравнению с вариантом многолистовой рессоры.

В то же время, несмотря на очевидные преимущества малолистовых рессор, автопроизводители СНГ по ряду причин не смогли освоить их широкое промышленное производство. Во многом это сдерживается сложностью самого процесса периодической прокатки, отличающегося нестационарными условиями формообразования, а именно: переменное обжатие полосы по длине, различные температурные условия в начале и в конце процесса деформирования, изменение величины опережения и другие факторы. В связи с этим существенно усложняется расчет геометрии деформирующего инструмента и конструкция технологического оборудования.