



A methods and technology of the periodic rolling billets variable profile. Given schematic diagrams and technical specifications of equipment for making plastic and surface treatment of small leaf springs and the guide bearings air suspension trucks. An assessment of the influence of ultrasonic vibrations on the structure and operating characteristics of the elastic elements of the suspension of vehicles.

В. В. КЛУБОВИЧ, В. А. ТОМИЛО, БНТУ

УДК 621.774

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ 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 максимально повысить ресурс машин, узлов и агрегатов при минимальной их металлоемкости.

Широкие 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 различных транспортных средствах. Достаточно 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.

Начиная с 1985 г. ФТИ НАН Беларуси, БНТУ и РУП «МАЗ» под руководством академика НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора, Лауреата Государственной премии БССР, заслуженного деятеля науки и техники БССР *Александра Васильевича Степаненко* приступили к исследованиям по разработке новых способов, техноло-

гий и оборудования для изготовления длинномерных полосовых заготовок переменного профиля продольной прокаткой и производства заготовок сложных деталей машин методами обработки давлением, основанные на одновременной обработке разнонаправленными инструментами.

Одним из основных способов получения полос с переменным по длине профилем, нашедшим промышленное применение, является прокатка полосы в приводных валках постоянного диаметра с изменяющимся в процессе деформирования межвалковым зазором. Именно этот принцип заложен в технологии и оборудовании известной немецкой фирмы «Daniel Heuзер», которые используют в настоящее время практически все мировые производители малолистовых рессор. Эта технология, хотя и позволяет получать заготовки малолистовых рессор достаточно высокого качества, не может быть повсеместно использована ввиду высокой стоимости оборудования и лицензии. Причем высокая стоимость оборудования «Daniel Heuзер» вызвана не только тем, что фирма является монополистом в данной области, но и объективно высокой его себестоимостью, связанной с большой сложностью и металлоемкостью, применением дорогостоящих адаптивных следящих систем и претензионного гидрооборудования.

Новые способы и технологии периодической прокатки. Учеными БНТУ и ФТИ НАН Беларуси совместно со специалистами Минского автомобильного завода был разработан принципиально новый способ формообразования заготовок малолистовых рессор (рис. 1), в соответствии с которым нагретую заготовку 1 центральной частью прижимают к торцу профилированной с двух сторон оправки 2 и с помощью направляющих роликов при поступательном перемещении оправки симметрично изгибают до полного прилегания за-

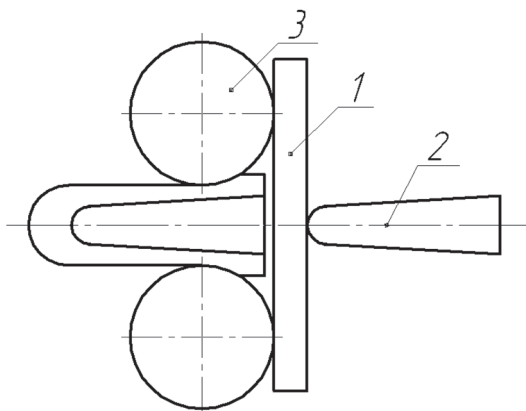


Рис. 1. Схема прокатки параболических заготовок малолистовых рессор на профильной оправке

готовки к поверхности оправки, после чего производят прокатку в неприводных валках 3 с фиксированным межвалковым зазором [1]. По окончании процесса прокатки заготовку снимают с оправки и разгибают для обеспечения прямолинейности. При движении оправки в направлении прокатки происходит непрерывное возрастание обжатия валками заготовки и формирование окончательного (параболического) профиля, определяемого геометрией продольного контура оправки, диаметром валков и межосевым расстоянием.

В приведенной схеме прокатки валки являются неприводными. Поэтому заготовка в процессе обжатия постоянно прижата к торцу оправки, что исключает смещение заготовки относительно профилированных рабочих поверхностей оправки в направлении перемещения последней. Известно, что уменьшение диаметра бочки валков приводит к снижению распорного усилия на них и, тем самым, способствует повышению точности профиля прокатанных полос [2]. Кроме того, уменьшение диаметра валков приводит к увеличению коэффициента вытяжки и снижению величины уширения, которое существенно влияет на перераспределение металла по длине заготовки и, следовательно, на упругие характеристики полученных полос переменной толщины. Вместе с тем, уменьшение диаметра валков ограничено снижением их жесткости, а также условиями захвата металла. В нашем случае это ограничение сводится к условию вращения неприводных валков. При прокатке в неприводных валках очаг деформации в общем случае включает зоны отставания и опережения. Резерв сил контактного трения, передаваемый от металла к валкам, в зоне опережения играет активную роль и обеспечивает вращение валков. В зоне отставания силы контактного трения реактивны и препятствуют вращению валков. Поэтому вращение неприводных валков в процессе деформации

возможно лишь при условии, когда протяженность зоны опережения будет больше протяженности зоны отставания. Предельное ограничение по данному условию показывает, что в этом случае резерв активных сил контактного трения в зоне опережения исчерпан. Это приводит к остановке валков и процесс прокатки переходит в протяжку, что вызывает локальный износ самих валков. На основании экспериментальных данных было установлено, что максимально возможной является степень деформации 0,56. При дальнейшем увеличении степени деформации наблюдалась остановка вала, происходило утонение полосы, образование шейки и разрыв заготовки, что объясняется превращением процесса прокатки в вытяжку с утонением. Таким образом, при увеличении степени деформации происходит рост интенсивности напряжения натяжения, а при степени деформации выше указанной, напряжение натяжения превышает предел прочности полосы и происходит разрыв заготовки.

Для промышленной реализации предложенного способа изготовления заготовок малолистовых рессор предназначен опытно-промышленный прокатный стан СП-1298 [3]. Комплекс оборудования включает в себя соединенные между собой с помощью рольганга 1 установку для индукционного нагрева 2 и стан 3 для прокатки полосы с механизмами съема и разгиба прокатанной заготовки (рис. 2, 3). Индуктор щелевого типа обеспечивает нагрев полосовой заготовки длиной до 2000 мм и запитан от двух генераторов тока высокой частоты мощностью по 250 кВт каждый. Прокатный стан включает сварную станину 4 коробчатого типа, внутри которой смонтирована рабочая клеть 5 с установленными в ней в вертикальном положении последовательно друг за другом тремя парами рабочих валков 6 с ребордами. Перед валками расположены направляющие ролики 7, служащие для удержания поставленной на ребро прокатываемой полосы и направления профилированной оправки 8. Оправка жестко связана с кареткой 9, опирающейся на направляющие 10, которая соединена со штоком 11, горизонтально расположенного в станине гидроцилиндра 12, обеспечивающего оправке возвратно-поступательное перемещение. Сбоку станины закреплена штанга 13 с регулируемым по ее длине упором 14 для фиксации в продольном направлении подаваемой по рольгангу исходной заготовки. За рабочей клетью расположены механизмы съема заготовки после прокатки с профилированной оправки и разгиба прокатанной полосы. Механизм съема заготовки содержит сварную раму 15, гидроцилиндр 16, шток которого жестко связан

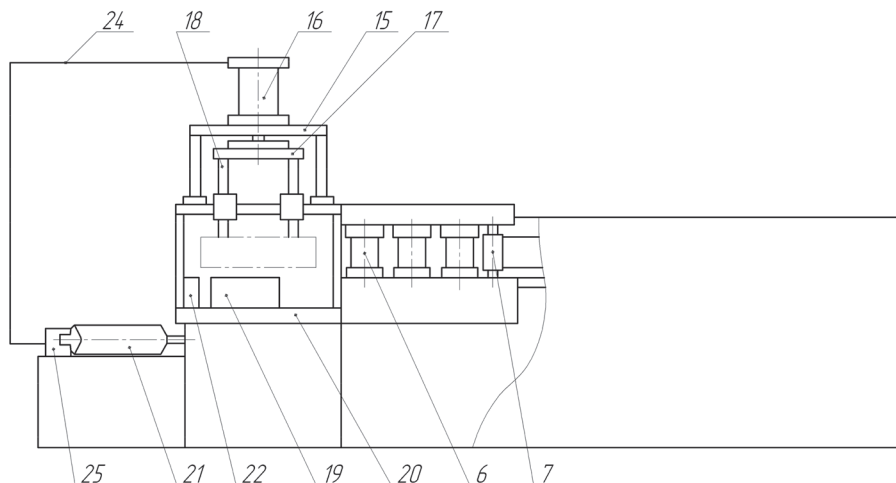


Рис. 2. Принципиальная схема стана для прокатки заготовок малолистовых рессор автомобилей МАЗ (вид сбоку)

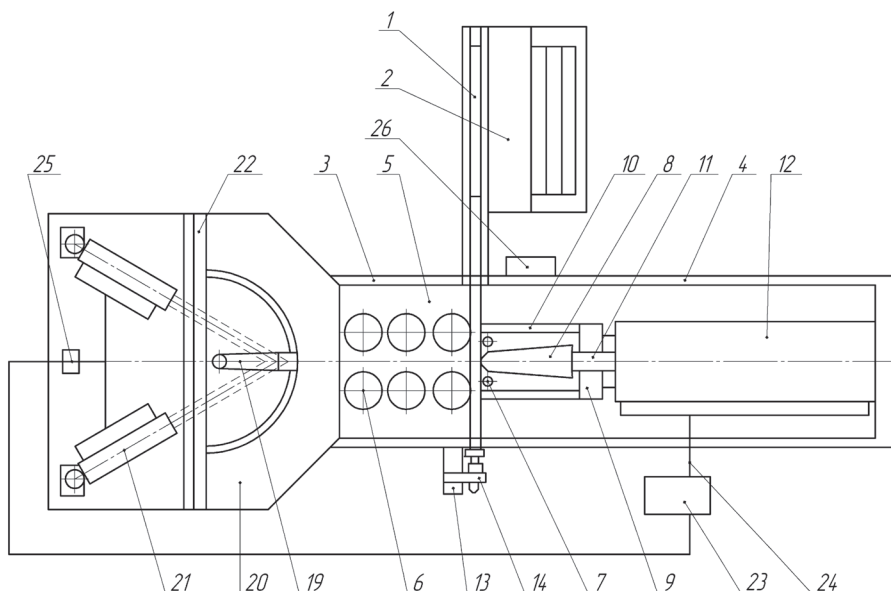


Рис. 3. Принципиальная схема стана для прокатки заготовок малолистовых рессор автомобилей МАЗ (вид сверху)

через траверсу 17 с толкателями 18, установленными в направляющих втулках, и обеспечивает посадку согнутой полосы после прокатки на сочлененную шарнирно оправку 19 разгиба, расположенную на столе 20. Раствор оправки разгиба относительно шарнира производится через систему тяг двумя гидроцилиндрами 21, имеющими возможность качания в горизонтальной плоскости относительно своих точек закрепления к станине. Линейка 22 жестко прикреплена к столу 20 и ограничивает величину угла разгиба прокатанной заготовки оправкой 19. Гидростанция 23 питает с помощью трубопроводов 24 через гидрораспределитель 25 всю гидросистему прокатного стана. Управление работой осуществляется от пульта 26.

С помощью описанного комплекса обеспечиваются следующие параметры процесса прокатки: температура нагрева заготовки под прокатку составляет 1000–1050 °С; число проходов – 1; сте-

пень деформации в трех парах валков за проход достигает 55%; наибольшее отклонение размеров от заданного профиля по толщине на всей длине заготовки не превышает $\pm 0,1$ мм; продолжительность цикла обжатия заготовки в валках – 10 с; продолжительность цикла обработки (загиб – прокатка – сьем – разгиб) – 30 с.

Технические решения, апробированные при эксплуатации стана СП-1298, использованы в последующих комплексах периодической прокатки. На рис. 4 показана полуавтоматическая линия МА-067, производящая последовательно прокатку заготовок, правку, обрезку концевых отходов и пробивку центрального отверстия [3].

Полуавтоматическая линия, концептуально идентичная стану СП-1298, отличается от последнего повышенной мощностью и производительностью, возможностью выполнения дополнительных операций и высокой степенью автоматизации.

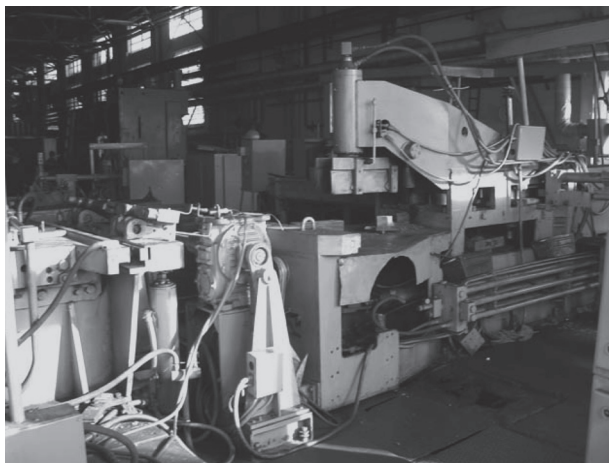


Рис. 4. Полуавтоматическая линия МА-067

Полуавтоматическая линия МА-067 включает в себя устройства нагрева, прокатную установку, манипуляторы и рольганги. Прокатная установка состоит из рабочей клетки, станины, каретки, оправки, механизма съема, разгиба и правки заготовки, ножниц, механизма загрузки и разгрузки, системы гидропривода, включающей гидронасосную станцию, систему трубопроводов и гидроцилиндры рабочие, а также комплекта электрооборудования, обеспечивающего общее электроснабжение установки и ее управление.

С освоением РУП «МАЗ» выпуска грузовых автомобилей средней грузоподъемности возникла проблема изготовления подрессорника задней подвески. Подрессорник представляет собой короткий лист переменного сечения с большим перепадом толщин. Такой профиль невозможно получить по традиционной схеме прокатки – с загибом заготовки. Для производства подрессорников была произведена модернизация опытно-промышленного прокатного стана СП-1298. Новая технология преду-

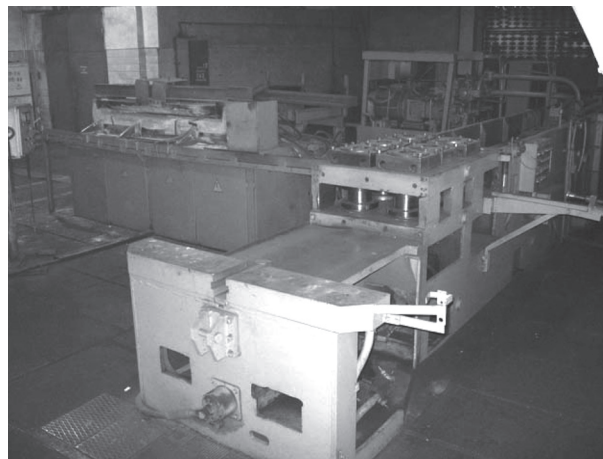


Рис. 5. Стан СП-1298М для прокатки заготовок подрессорника

сматривает прокатку одновременно двух заготовок. Внешний вид модернизированного стана СП-1298М показан на рис. 5.

В последнее время практически все известные мировые производители грузовых автомобилей и автобусов используют пневматическую подвеску, включающую пневмоцилиндр, направляющие элементы и систему управления. Для изготовления направляющего элемента пневмоподвески разработана качественно новая технология прокатки несимметричных полосовых заготовок с переменной по длине толщиной, заключающаяся в том, что нагреву подвергают только ту часть заготовки, которая впоследствии подвергается прокатке. Холодную часть заготовки используют для ее удержания на профилированной оправке. В качестве удерживающего устройства использован клиновой механизм, зажимающий заготовку за боковые поверхности от гидроцилиндра, расположенного на концевой части профилированной подвижной оправки. Принципиальная схема установки для прокатки

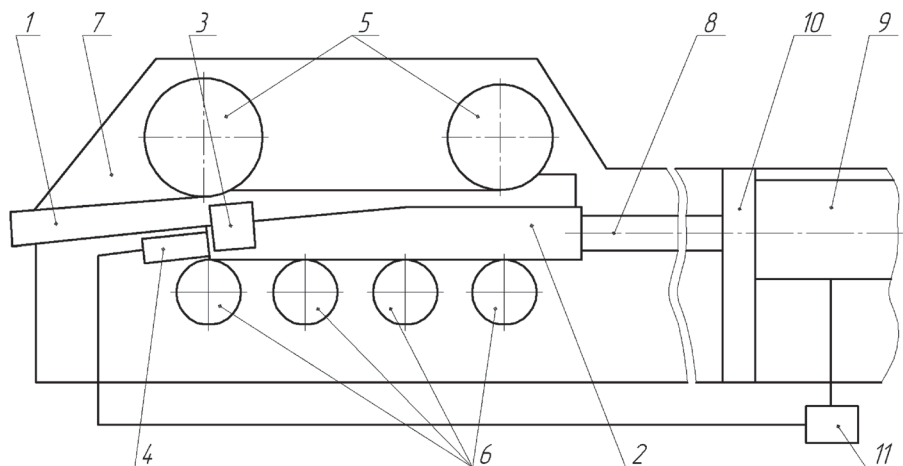


Рис. 6. Принципиальная схема стана для прокатки заготовок направляющих элементов пневмоподвески: 1 – заготовка; 2 – оправка; 3 – зажим; 4 – гидроцилиндр зажима; 5 – валки; 6 – опорные ролики; 7 – станина клетки; 8 – шток главного гидроцилиндра; 9 – главный гидроцилиндр; 10 – станина привода; 11 – гидростанция

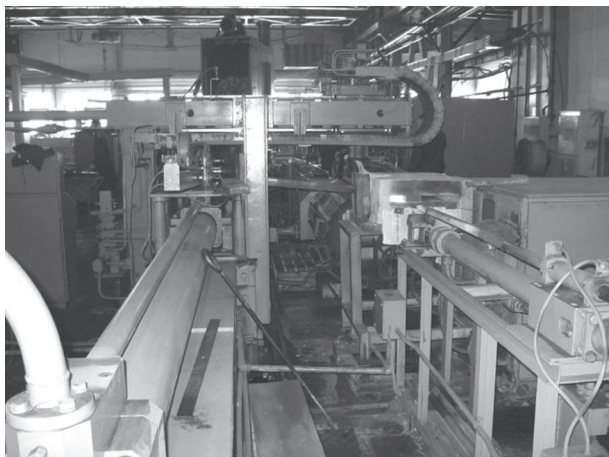


Рис. 7. Внешний вид стана для прокатки заготовок направляющих опор пневмоподвески

заготовок направляющих элементов пневмоподвески показана на рис. 6, а внешний вид – на рис. 7. Прокатная клеть стана выполнена с двумя последовательно расположенными парами валков и системой опорных роликов, по которым имеет возможность перемещаться возвратно-поступательно плита. На верхней части плиты закреплена профильная оправка. Привод плиты вместе с оправкой осуществляется от гидроцилиндра.

Нагрев деформируемой части заготовки до температуры 900–950°C осуществляется в индукторе щелевого типа. Длина нагреваемого участка составляет от 40 до 80% полной длины заготовки в зависимости от типоразмера. Наличие холодного участка заготовки не только позволяет экономить электроэнергию, но и облегчает ее транспортировку и загрузку в рабочую клеть.

Загрузочное устройство представляет собой подвижный стол с установленными на нем свободно вращающимися направляющими и поддерживающими роликами. При загрузке стол поднимается на один уровень с рабочей зоной прокатного стана, а во время рабочего хода опускается, освобождая место для прохода подвижной оправки (деформирующий инструмент) с прокатанной заготовкой. Нагретая заготовка прокатывается на профильной оправке, проходящей последовательно две, выполненные в одной станине, прокатные клетки. Оправка закреплена на ползушке, которая перемещается по опорным роликам диаметром 200 мм и приводится в движение гидроцилиндром усилием 600 кН.

Заготовка на оправке фиксируется и удерживается в процессе прокатки гидромеханическим зажимом. Прокатка проходит последовательно в двух валках. Валки выполнены гладкими диаметром 250 мм. Валки установлены в бронзовых подшипниках скольжения, которые запрессованы в эксцентрико-

вые втулки, позволяющие регулировать положение валка относительно поверхности оправки в пределах ± 6 мм. Эксцентриковые втулки поворачиваются посредством зубчатой передачи с передаточным отношением 1:18. Такая конструкция позволяет проводить бесступенчатую регулировку межвалкового зазора с высокой точностью. Регулировка осуществляется отдельно для каждого валка.

К преимуществам данного способа прокатки относятся.

1. Возможность получения заготовок направляющих элементов пневмоподвески с широким спектром длин прямых участков. Причем изменение длины толстого (некатаного) конца направляющего элемента пневмоподвески осуществляется простой регулировкой заднего упора.

2. Для осуществления данного способа нет нужды нагревать заготовку целиком. Достаточно нагреть только ту часть, которая непосредственно подвергается деформированию. Для направляющих элементов, применяемых в ПО «Белавто-МАЗ», нагретый участок составляет от 1/2 до 3/4 общей длины заготовки. Учитывая сравнительно большую массу и геометрические размеры подката, неполный нагрев оказывает значительное влияние на энергоемкость процесса получения заготовок направляющих элементов. Кроме того, значительно уменьшаются геометрические размеры и упрощается конструкция индуктора, а также увеличиваются производительность и срок службы установки ТВЧ.

3. Уменьшенные в 2 раза размеры и масса заготовки в предложенном способе по сравнению с традиционным (прокатка одновременно двух заготовок) позволяют отказаться от использования универсального подъемно-транспортного оборудования (кран балки) в процессе технологического цикла, а также упрощает конструкцию средств механизации, автоматизации и вспомогательного технологического оборудования.

На модернизированном прокатном стане СП-1298М и стане для прокатки направляющих опор МА076 освоено производство направляющих опор пневмоподвески автомобилей и полуприцепов МАЗ. В результате внедрения новой технологии в полном объеме обеспечена потребность Минского автомобильного завода. Разработанные технология и конструкция установки для безотходной штучной прокатки заготовок направляющих элементов пневмоподвески, предусматривающие частичный нагрев заготовки, позволяют добиться экономии электроэнергии до 40%, металла – до 10%, повысить производительность оборудования в 3–4 раза. Экономический эффект от внедрения в производ-

ство технологии изготовления направляющих опор пневмоподвески получен за счет импортозамещения и составляет в денежном выражении более 1,5 млн. долларов США в год.

Поверхностное упрочнение упругих элементов. Путем анализа патентных материалов, а также изучения мирового опыта упрочнения рессор установлено, что механические методы упрочнения (обкатка шариковым или роликовым инструментом) применяют для полос, имеющих твердость до 40 HRC. Для рессорных листов, твердость которых составляет 47–52 HRC, применяют дробеструйную обработку [4]. Основные недостатки этого метода состоят в следующем:

- низкая производительность по отношению к другим операциям производственного процесса (время обработки одного листа рессоры в заневоленном состоянии составляет 10–12 мин, а прокатки одного листа – 4–7 с);
- невозможность регулирования толщины упрочняемого слоя и его механических свойств (при длительной обработке происходит шелушение и отслоение металла);
- необходимость постоянной очистки, сортировки и обновления дроби;
- пыль, шум и вибрации.

Установлено, что оптимальным способом высокопроизводительного и управляемого процесса упрочнения листов постоянной и переменной толщины является прокатка в валках, один из которых имеет рифленую поверхность (рис. 8). В этом случае нижняя часть полосы, соприкасающаяся с гладкой поверхностью валка, деформируется не пластически, а упруго. Вершины же рифления верхнего валка вдавливаются в поверхность полосы на регулируемую высоту. При такой обработке гарантируется перераспределение остаточных напряжений, упрочнение металла в местах вдавливания вершин рифлений и отсутствие изменений на не-

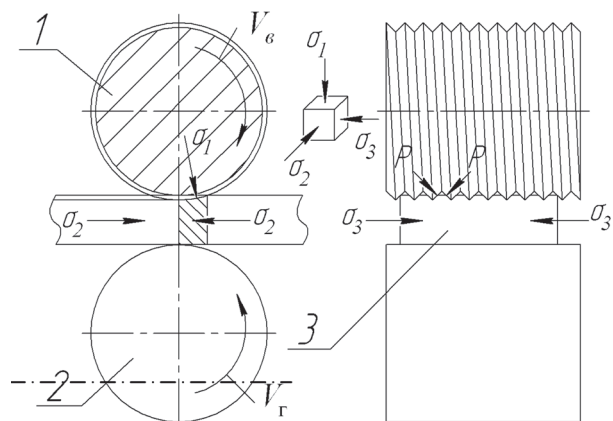


Рис. 8. Схема напряженного состояния при обработке рифленым валком: 1 – валок рифленый; 2 – валок гладкий; 3 – лист рессоры

деформируемых участках. В процессе изгиба полосы во время эксплуатации именно на недеформированных участках возникают максимальные растягивающие напряжения в соответствии с эпурой распределения нормальных напряжений в поперечном сечении листа.

Предложены и исследованы три следующие схемы обработки:

- 1) нанесение на поверхности термообработанного листа рельефа определенной формы, глубины и площади путем прокатки рифленным валком на первом этапе и последующей прокатки в гладких валках со степенью деформации, достаточной для полного или частичного обжатия выступов рельефа – на втором;
- 2) нанесение рельефа на поверхности полосы при горячей прокатке, термообработка и последующая прокатка в гладких валках в холодном состоянии;
- 3) прокатка термообработанной полосы в валках, один из которых имеет винтовую форму рифления, обеспечивающую упрочнение и сдвиг поверхностного слоя металла.

Экспериментальное исследование вариантов упрочнения. Исследовали полосы из стали 50ХГФА сечением 8×60 мм и длиной 200 мм. Полосы подвергали закалке от температуры 850 °С охлаждением в масле и с последующим отпуском при температуре 420 °С. Твердость после термообработки составляла HRC 42–44. Поверхностную обработку проводили валками, один из которых был гладкий, а второй – с винтовым профилем.

Исследовано влияние давления металла на валки (P) при упрочнении полос из стали 50ХГФА сечением 8×60 мм и длиной 600 мм. Поверхностную обработку производили рабочим валком с метрическим винтовым профилем ($S = 2$ мм) и опорным – с шагом метрического профиля 1,25 мм.

Валки изготовлены 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 прогиба 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.

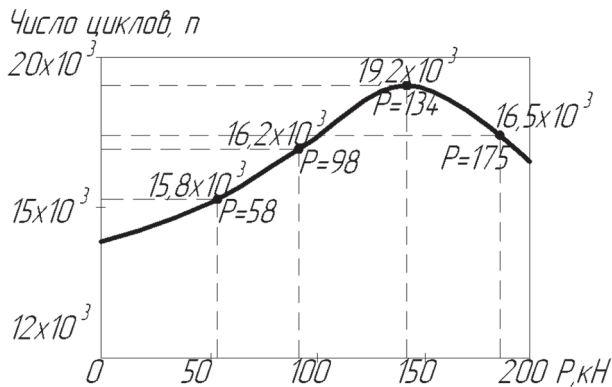


Рис. 9. Зависимость числа циклов при стендовых испытаниях образцов от давления на валки

Результаты испытаний приведены на рис. 9. С увеличением давления на валки усталостная долговечность полосы повышается до определенного предела, а затем падает. Установлено, что максимальное повышение усталостной долговечности при однократном пропуске полосы между валками с винтовым профилем составляет 42%.

Ультразвуковые методы упрочнения рессор.

Высокие эксплуатационные характеристики рессорных листов в значительной степени зависят от качества обработки их поверхностей, а также от структуры и фазового состава поверхностных слоёв, знака и уровня остаточных напряжений в них. Рассмотрим вопросы влияния ультразвука на процессы распада аустенита в поверхностных слоях рессорных листов и на упрочнение их поверхности.

Разработаны конструкции устройств для упрочняющей обработки листов упругих элементов с наложением ультразвуковых колебаний. На рис. 10 показан общий вид устройства для поверхностно-

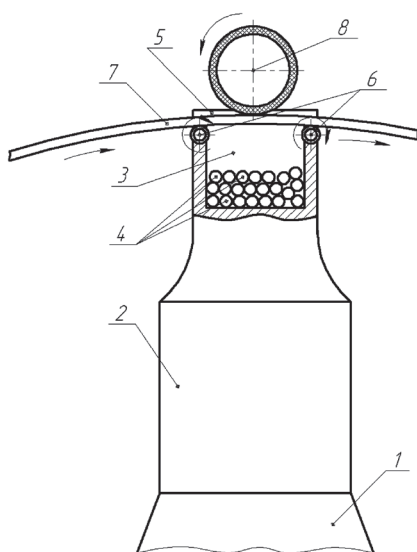


Рис. 10. Устройство для поверхностного ультразвукового упрочнения упругих элементов со свободными деформирующими элементами

го ультразвукового упрочнения пластин рессор. Устройство работает следующим образом. Обрабатываемая рессорная пластина 7 укладывается в паз 5 на опорные ролики 6, одновременно прижимается и приводится в движение при помощи приводного обрезиненного ролика 8. После включения ультразвукового генератора в электроакустическом преобразователе 1 возбуждают механические колебания ультразвуковой частоты в диапазоне 18–24 кГц, которые посредством концентратора 2 возбуждают в слое металлических шариков 4 колебания той же частоты и придают им ускорение, необходимое для удара об обрабатываемую поверхность рессорной пластины 7. Размер шариков может колебаться от 0,5 до 1,0 мм. Помимо собственно упрочнения, на представленном устройстве можно осуществлять нанесение на поверхность рессоры различных покрытий – цинковых антикоррозионных, антифрикционных, например диоксид молибдена, графит и др. Для этого в контейнер с шариками помещают требуемые материалы в виде мелкодисперсных порошков, которые «зачеканиваются» в обрабатываемую поверхность при ударах шариков.

На рис. 11 показано устройство для поверхностного ультразвукового упрочнения плоских упругих элементов с закрепленными деформирующими шариками.

Устройство состоит из ультразвукового генератора гармонических сигналов, электроакустического преобразователя 1 с концентратором 2 закрепленного на его торце деформирующим элементом 3, выполненным в виде выступающих над торцом концентратора 2 на одинаковую высоту сфер 4, причем ширина деформирующего элемента 3 рав-

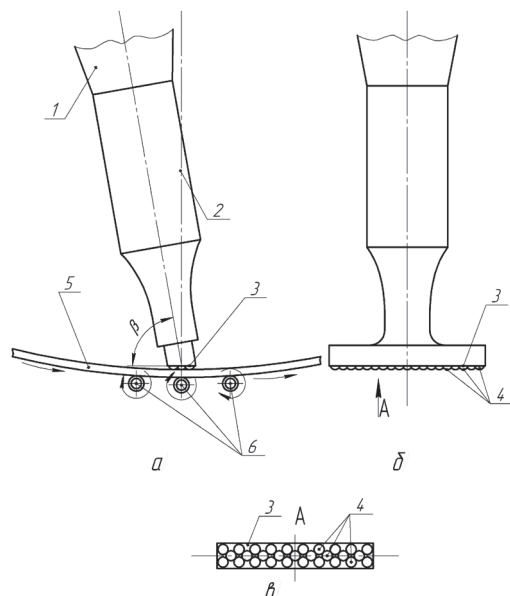


Рис. 11. Устройство для поверхностного ультразвукового упрочнения закрепленными деформирующими элементами

на ширине обрабатываемой поверхности пластины рессоры 5, а рабочая поверхность деформирующего элемента 3 расположена под углом к продольной оси концентратора. Для перемещения пластин рессор 5 вдоль концентратора 2 устройство снабжено опорными роликами 6.

Данное устройство позволяет производить строго регламентированную обработку, используя различное расположение и диаметр шариков в деформирующем элементе, а также варьируя углом наклона β концентратора.

Известно, что ультразвуковая обработка оказывает влияние на кинетику фазовых превращений аустенита в сталях. Температуры, при которых осуществляют УЗ обработку, выбирают на основании анализа диаграмм изотермического превращения переохлажденного аустенита, затем определяют режимы и длительность озвучивания. Устойчивость аустенита, как правило, определяют временем 5%-ного превращения аустенита при температурах, при которых проводится УЗ обработка. По изотермическим диаграммам определяют также температуры начала и окончания феррито-перлитного и бейнитного превращений.

УЗ обработку листов проводили при температурах отпуска в интервале температур 420–390 °С закрепленным инструментом на частоте 22 кГц. Время обработки листа определялось углом наклона инструмента к обрабатываемой поверхности и изменялось от 50 до 250 с для образования до 30 мас.% бейнита.

Анализ микроструктур поверхностного слоя листов стали 50ХГФА, сформировавшихся в УЗ поле, показал, что средний размер зерна зависит от длительности УЗ воздействия и при увеличении продолжительности обработки размер зерна повышается.

Гистограмма распределения величины зерна аустенита в поверхностном слое до и после УЗ обработки в течение 200 с приведена на рис. 12.

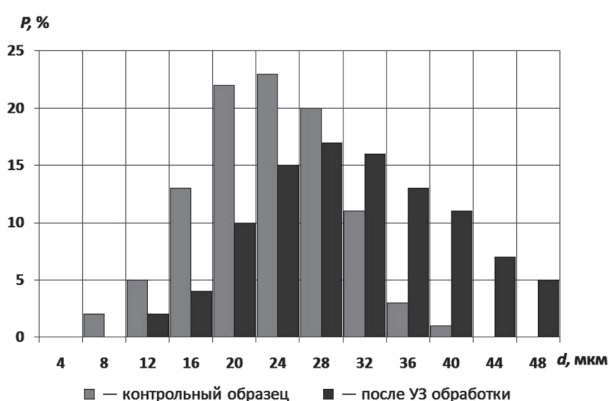


Рис. 12. Характер распределения величины зерна в поверхностном слое листа рессоры до и после УЗ обработки

Результаты исследований твердости и доли бейнита в поверхностном слое представлены на рис. 13. УЗ обработка стали 50ХГФА при длительности обработки до 50 с не вызывает заметных изменений структурного состояния поверхностного слоя. Повышение длительности обработки вызывает снижение твердости (кривая 1), обусловленное увеличением доли бейнитной составляющей (кривая 2).

Таким образом, установлено, что, варьируя длительность акустического воздействия, можно управлять микроструктурой и соотношением фазовых составляющих в поверхностном слое листов рессор и, следовательно, управлять их механическими свойствами и стойкостью к образованию усталостных микротрещин. В температурном интервале бейнитного превращения аустенита длительность обработки листа должна превышать время инкубационного периода распада аустенита.

Целью УЗ обработки являлось формирование в поверхностных слоях листов устойчивых к усталостному разрушению и не склонных к образованию микротрещин продуктов распада аустенита. Однако сжимающие напряжения, которые как было показано выше, благоприятно влияют на долговечность рессор, при наложении УЗ поля при повышенных температурах (420–390 °С) релаксируют, так как амплитуды УЗ деформаций в 3–4 раза превышают амплитуду упругих деформаций ($\sim 2 \cdot 10^{-4}$). Для получения максимального эффекта при использовании ультразвука обработку необходимо проводить как в интервале температур бейнитного превращения переохлажденного аустенита, так и при комнатной температуре с целью формирования наклепанного поверхностного слоя с достаточно высоким уровнем остаточных сжимающих напряжений. В связи с этим были проведены исследования влияния режимов повторной УЗ обработки листов рессор при комнатной температуре на уровень остаточных напряжений и твердость поверхностного слоя листов.

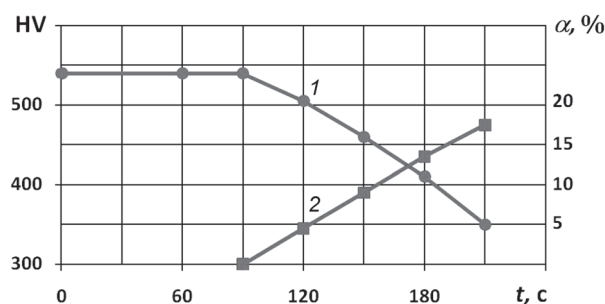


Рис. 13. Зависимость твердости и доли бейнитной составляющей α в поверхностном слое листа от длительности УЗ обработки: 1 — HV; 2 — доля бейнитной составляющей

В результате УЗ обработки при комнатной температуре в поверхностном слое листов сформировалась высокодисперсная структура феррито-перлита и релаксированного бейнита с небольшой долей мартенсита самоотпуска при твердости до 480 HV и уровне остаточных сжимающих напряжений порядка минус 320 МПа. Упрочнение поверхностного слоя листов обусловлено особенностями формирования дислокационной структуры в поле знакопеременных напряжений, в результате чего предел текучести материала поверхностного слоя σ_T возрос до 940 МПа, а вероятность зарождения и распространения микротрещин в нем при циклических нагрузках снизилась.

Выводы. Научно обоснованы и разработаны высокоэффективные технологии изготовления периодических профилей и создано оборудование для их реализации. По результатам проведенных исследований спроектирован ряд станков периодической прокатки. Созданы установки для изготовления заготовок малолистовых рессор большегрузных автомобилей МАЗ, легковых автомобилей и прицепов к ним. Весь комплекс оборудования изготовлен отделом станкостроения и кузнечно-штамповочным производством Минского автозавода. В настоящее время на Минском рессорном заводе функционируют две полуавтоматические линии, полностью обеспечивающие потребность Минского автозавода в малолистовых рессорах и направляющих элементах пневмоподвески для автомобилей и полуприцепов [5]. Предложенная технология и оборудование для получения полосо-

вых заготовок переменного профиля были переданы фирме «Eaton Corporation» (Детройт, США) в соответствии с Лицензионным соглашением от 27 мая 1994 г., согласно которому Республика Беларусь начиная с 1996 г. получила более 500 тыс. долларов США.

По данной тематике получено 16 авторских свидетельств, 12 патентов РБ, 3 патента США, патенты Великобритании и Германии.

Этапы освоения технологии изготовления малолистовых рессор большегрузных автомобилей семейства МАЗ:

- В 1992 г. на Минском рессорном заводе введен в эксплуатацию первый стан для прокатки заготовок параболического профиля малолистовых рессор 1298.

- В 1995 г. на МРЗ сдан в эксплуатацию полуавтоматический промышленный комплекс МАЛ-902 для изготовления широкой гаммы заготовок малолистовых рессор для автомобилей семейства МАЗ.

- В 1996 г., согласно Лицензионному Соглашению от 27 мая 1994 г., с фирмой «Eaton Corporation» (Детройт, США) на дочернем предприятии этой фирмы в г. Чадем (Канаде) запущена в эксплуатацию автоматическая линия по изготовлению заготовок малолистовых рессор, получившая название «MAZ – PROZESS».

В целом по данной тематике общий экономический эффект с момента ввода в эксплуатацию оборудования составил сумму, превышающую 50 млн. долларов США.

Литература

1. Прокатка полос переменного профиля / А. В. Степаненко, В. А. Король, Л. А. Смирнова. Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2001.
2. Технологии изготовления и обработки специальных периодических профилей / В. В. Клубович, В. А. Томило. Мн.: БНТУ, 2007.
3. Станы периодической прокатки / В. В. Клубович, В. А. Томило // Перспективные материалы и технологии; Под ред. В. В. Клубовича. Витебск, 2008.
4. Пути повышения усталостной долговечности деталей, работающих в условиях циклических нагрузжений / В. В. Клубович, В. А. Томило, Е. В. Хрущев // Перспективные материалы. Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2009.
5. Малолистовые рессоры. Путь в массовое производство. / А. В. Степаненко, А. П. Ракомсин, Л. А. Исаевич и др. // Грузовик &. 2000. № 6. С. 15–17.