

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СТАБИЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ

В процессе изготовления большинство деталей подвержено различным видам деформаций, приводящих к изменению их геометрических параметров. При обработке деталей возникают различные виды остаточных напряжений, детали могут деформироваться от сил резания и зажима, от перепада температур и структурных изменений и т.д. Для исключения этих явлений применяются различные виды правки деталей и снятия остаточных напряжений.

Наиболее распространенным методом правки является деформирование статической нагрузкой в направлении, противоположном возникшему искажению. Причем деформирование должно выполняться с учетом упругого деформирования после снятия нагрузки. Технологические процессы правки в большинстве случаев осуществляются посредством пластического изгиба и растяжения или сжатия [1].

По характеру нагружения эти процессы относятся к статическим, так как нагружение при обычной правке происходит за один или несколько циклов. Однако с большим рассеянием механических и физических свойств материалов этот способ правки не обеспечивает требуемых результатов. Недостатком этого метода является также то, что при деформировании при пластическом изгибе создаются остаточные напряжения, благодаря которым спустя некоторое время правленая деталь снова приобретает прежнюю форму.

Ряд зарубежных фирм [2] предлагает для правки деталей типа валов различные типы прессов, оснащенных системами ЧПУ, которые вначале измеряют деформацию вала и в зависимости от места и степени деформации определяют программу правки. Качество и производительность правки при этом значительно улучшаются. Однако по сути эта правка является также статической. Валы сохраняют остаточные напряжения и после некоторого времени продолжают деформироваться.

Более эффективной является правка при многократном знакопеременном пластическом изгибе. Этот метод используется в валковых и роликовых правильных машинах, применяемых для правки листового и сортового проката [3]. В листовых машинах число валков составляет 7 – 17, в некоторых случаях 19–29. Отмечено положительное влияние многократного пластического деформирования при правке, причем особенно подчеркивается положительный эффект знакопеременного деформирования. Однако эти процессы нельзя в полной степени считать динамическими, так как все эти результаты были получены в пределах 10...15 циклов нагружения.

Термо-механические методы обработки в некоторой степени влияют на улучшение геометрических параметров деталей, хотя основное назначение их заключается в стабилизации фазового и структурного состояния деталей [4]. Одним из наиболее эффективных разновидностей термо-механических методов является динамическое старение [5].

Необходимо отметить, что в технологических процессах производства массовых деталей за рубежом широко применяется специальное оборудование для правки деталей. Только в Германии успешно работает 11 фирм, специализирующихся на изготовлении специальных машин для правки деталей. Применение такого оборудования позволяет в процессе изготовления уменьшать погрешности и припуски обработки и в

конечном итоге обеспечивать более высокое качество изготовления. В отечественном машиностроении в настоящее время практически отсутствуют разработчики и изготовители такого оборудования.

В массовом производстве за рубежом получили применение установки для правки с многократным приложением знакопеременных нагрузок [6]. Описано применение этих установок для правки деталей типа тонкостенных колец, длинных сплошных и пустотелых валов, полуосей и балок передней подвески легковых и грузовых автомобилей, торсионов, оружейных стволов, деталей самолетов и реактивных двигателей. Во всех случаях отмечается высокая эффективность этого метода правки, при которой достигается высокая точность независимо от исходной погрешности, уменьшение внутренних напряжений, стабильность геометрической формы деталей при последующей обработке, сокращение операций термической обработки, увеличение срока службы деталей. Длительность процесса составляет от 3 до 14 секунд, причем отмечается, что величина создаваемых напряжений в материале может достигать предела текучести. Во всех случаях отмечается значительное повышение надежности и долговечности деталей, подвергнутых такой правке. Вместе с тем в имеющейся информации об этом методе правки и применяемых установках отсутствует информация о характеристиках нагружения, однако по имеющейся информации можно с уверенностью считать, что процесс нагружения является знакопеременным, с изменяющейся амплитудой напряжений, а по характеру нагружения - динамическим.

Существует различные теории поведения остаточных напряжений при циклическом нагружении, но их можно свести к следующему основному положению, что при циклическом нагружении [7]:

- циклическое нагружение ускоряет процессы релаксации и происходит уменьшение остаточных напряжений за счет релаксации макронапряжений,
- при высоких циклических нагружениях остаточные напряжения снижаются уже при первых 100 циклах нагружения,
- для эффективного снятия остаточных напряжений необходимо иметь достаточное количество циклов нагружения для развития и накопления пластической деформации.

Таким образом, можно констатировать, что не существует универсального и высокоэффективного метода стабилизации геометрических параметров деталей в процессе их изготовления. Классические методы правки позволяют улучшить геометрическую форму детали в процессе изготовления, однако спустя некоторое время деталь приобретает снова первоначальное искажение. Как известно, ряд материалов имеет так называемую «память» своей первоначальной геометрической формы. Известные термические методы снятия остаточных напряжений позволяют стабилизировать геометрические параметры деталей, но также не всегда и не для всех видов деталей, при этом эти методы требуют значительных затрат, особенно энергетических. В результате можно сделать выводы о том, что:

- циклические виды правки имеют преимущества по сравнению со статическими в достижении лучших результатов исправления геометрических форм деталей;

- циклические виды нагружения в сочетании в различными видами термической обработки дают более значительный эффект улучшения структурных и физических свойств металлов и сплавов;
- в большинстве случаев применения циклического нагружения отмечается комплексным воздействием на структурные и физические свойства металлов и сплавов, выражающееся в одновременном улучшении геометрических параметров и стабилизации структур;
- для повышения точности и стабилизации геометрических форм деталей целесообразно использовать циклическое знакопеременное нагружение, однако для его использования необходимо знать основные параметры и режимы нагружения.
- Отечественное машиностроение отстало в применении циклического знакопеременного нагружения по сравнению с зарубежными производствами. Однако белорусское машиностроение имеет примеры не менее эффективного применения знакопеременного нагружения.

Впервые в отечественном машиностроении знакопеременное нагружение было успешно применено при изготовлении дисков сцепления и фрикционных дисков под названием «импульсная правка». В Минском проектно-конструкторском технологическом институте с 1975 по 1991г.г. было создано и внедрено 45 различных установок для импульсной правки для дисков сцепления и фрикционных дисков, было создано несколько образцов опытно-промышленных установок для импульсной правки торсионных и коленчатых валов. Все разработки показали высокую эффективность применения импульсной правки, однако сдерживающим фактором для эффективного расширения сферы применения импульсной правки было отсутствие методики назначения режимов, которые приходилось подбирать экспериментальным путем.

Учитывая то, что нагружение имеет циклический знакопеременный характер, а целью нагружения является придание изделиям стабильных свойств, используем для дальнейшего названия описываемого процесса термин «динамическая стабилизация».

В настоящее время в Институте механики и надежности машин НАН Беларуси разработана методика расчета основных режимов динамической стабилизации, что позволяет прогнозировать возможности ее применения для широкой номенклатуры различных деталей [8].

Динамическая стабилизация знакопеременным нагружением основана на том, что при нагружении детали знакопеременной циклической нагрузкой с симметричным циклом происходит стабилизация геометрической формы детали относительно оси или плоскости приложения знакопеременной нагрузки.

В результате проведенного цикла исследований были сделаны следующие выводы относительно рекомендуемых режимов динамической стабилизации [9]:

- должны создаваться напряжения  $\sigma_{рас}$ , увеличивающиеся до максимальных в диапазоне  $\sigma_{рас} = (1,0 \dots 0,85) \sigma_T$  от предела текучести для применяемого материала;
- при максимальном уровне нагружения  $\sigma_{рас} = 1 \sigma_T$  рекомендуется применение треугольной формы циклограммы, при максимальном уровне нагружения  $\sigma_{рас} = (0,95 \dots 0,85) \sigma_T$  рекомендуется применение трапециевидальной формы циклограммы;
- суммарное число циклов нагружения рекомендуется в пределах 100...800, однако должно окончательно уточняться по уровню накопления усталостных повреждений.

При использовании динамической стабилизации применительно к различным типам деталей следует в первую очередь выбирать такую схему нагружения детали, которая позволяет создавать напряжения динамической стабилизации в

максимально возможном объеме детали.

К деталям типа дисков относятся диски с относительно небольшим диаметром центрального отверстия по отношению к наружному диаметру. К таким дискам относятся круглые пилы, диски чесальных машин, жесткие ведомые диски сцепления и т.п.

Для **деталей типа дисков** рекомендуется схема нагружения, представленная на рис. 1.

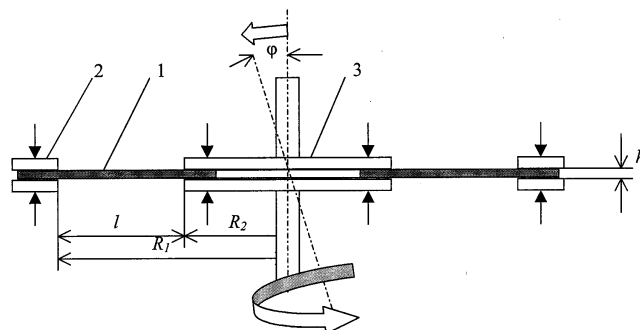


Рис. 1. Схема нагружения деталей типа дисков при динамической стабилизации.

По этой схеме диск 1 зажимается по периметру зажимом 2, а в центральной части зажимом 3. Центральная зажатая часть диска 3 поворачивается на угол  $\phi$ , в результате чего в полотно диска возникают две симметричные зоны нагружения. Нагруженная часть диска имеет ширину  $l$  между радиусами  $R_1$  и  $R_2$ . Одновременно с поворотом на угол  $\phi$  зажатая центральная часть диска приводится во вращение с изменением угла  $\phi$  от нуля до максимального и затем снова до нуля по определенному закону. Зоны нагружения совершают круговое движение по диску, в результате чего в диске возникают знакопеременные симметричные напряжения, изменяющиеся в течение цикла динамической стабилизации. Поворот центральной части диска относительно оси на угол  $\phi$  позволяет создать эти напряжения, а вращение – сделать эти напряжения циклическими и знакопеременными.

Для создания необходимого напряженного состояния в диске необходимо за счет поворота оси диска на угол  $\phi$  достичь рекомендуемого расчетного напряжения динамической стабилизации  $\sigma_{рас}$ , величина которого назначается в соответствии с вышеприведенными рекомендациями. Максимальный угол поворота оси диска  $\phi$  для достижения расчетного напряжения может быть определен по зависимости

$$\phi = \frac{2l^2 \cdot \sigma_{рас}}{Eh(R_2 + l)}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{рас}$  – расчетное напряжение стабилизации,  $h$  – толщина диска,  $E$  – модуль упругости,  $l$  – ширина нагружаемой части диска,  $R_2$  – радиус центрального зажима диска.

Динамическая стабилизация дисков сцепления была успешно внедрена на Ровенском заводе тракторных запасных частей, Чебоксарском агрегатном заводе, Харьковском заводе тракторных самоходных шасси, Владимирском тракторном заводе при изготовлении дисков сцепления. Применение динамической стабилизации дисков сцепления с наружными диаметрами от 220 до 450 мм позволили достичь отклонения по плоскостности рабочих поверхностей в пределах 0,6...0,8 мм при исходной погрешности до 1,7 мм и соответственно биения рабочих поверхностей в пределах 0,4...0,5 мм при исходной погрешности до 2,5 мм.

К деталям типа колец относятся диски с относительно большим диаметром центрального отверстия по отношению к наружному диаметру. К кольцам относятся фрикционные диски.

Для деталей типа колец рекомендуемая схема нагружения, представленная на рис.2.

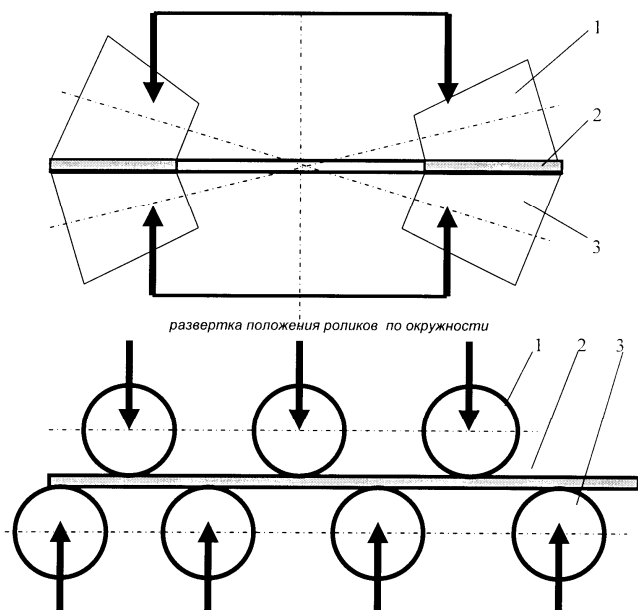


Рис. 2. Схема нагружения деталей типа колец при динамической стабилизации.

Подвергаемое динамической стабилизации кольцо 2 располагается между радиально расположенными верхними 1 и нижними 3 роликами. Верхние ролики перемещаются вниз и нагружают кольцо, которое приводится во вращение от нижних приводных роликов. Нагружение кольца верхними роликами создаст напряженное состояние, а вращение кольца от нижних приводных роликов создаст знакопеременное напряженное состояние.

Для создания необходимого напряженного состояния в кольце необходимо за счет прогиба кольца  $\Delta$  достичь рекомендуемого расчетного напряжения динамической стабилизации  $\sigma_{рас}$ , величина которого назначается в соответствии с вышеприведенными рекомендациями. Максимальный прогиб кольца  $\Delta_{max}$  для достижения расчетного напряжения может быть определен по зависимости

$$\Delta_{max} = \frac{\sigma_{рас} \left[ \frac{\pi}{2n} (D_n + D_e) \right]^2 W}{12E J} \quad (2)$$

где  $W, J$  - моменты сопротивления и инерции сечения кольца,  $n$  - количество роликов в нижнем или верхнем ряду по схеме нагружения,  $D_n$  - наружный диаметр кольца,  $D_e$  - внутренний диаметр кольца.

Динамическая стабилизация при производстве фрикционных дисков была внедрена на Орловском заводе шестерен, на Волгоградском и Челябинском тракторных заводах, Уралвагонзаводе, а также ряде других заводов, которые изготавливали фрикционные диски бортовых фрикционов гусеничных машин. Практически для всех фрикционных дисков на этих предприятиях была достигнута точность по отклонению от плоскостности в требуемых пределах 0,15...0,25 мм, в то время как до внедрения динамической стабилизации отклонение от плоскостности фрикционных дисков достигало 1...2 мм.

В 2005-2006 г.г. планируется внедрить динамическую стабилизацию первых 4-х наименований фрикционных дисков на Белорусском автомобильном заводе.

Для деталей типа валов наиболее рациональной схемой нагружения является схема, представленная на рис.3.

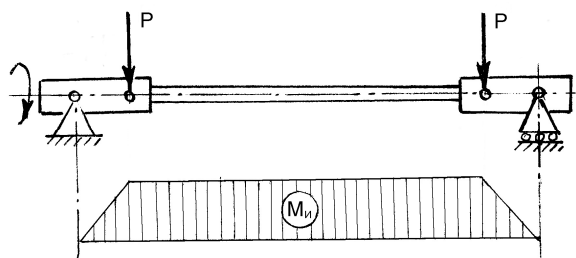


Рис. 3. Схема нагружения торсионных валов при динамической стабилизации.

Типичным представителем длинных и нежестких валов являются торсионные валы. По этой схеме нагружения основным параметром является величина изгибающего момента, который может быть определен по зависимости

$$M_u = \sigma_{рас} W \quad (3)$$

где  $W$  - момент сопротивления минимального сечения вала.

Опробование установки для стабилизации торсионных валов длиной 1200 мм с диаметром рабочих шеек 40 мм показало возможность достижения окончательного прогиба вала в пределах 0,3...0,5 мм при исходном прогибе до 5... 10 мм.

Требования современных конструкций машин по снижению металлоемкости и повышению долговечности напрямую связаны с необходимостью изготовления деталей со стабильной геометрической формой. Динамическая стабилизация является эффективным средством повышения точности и долговечности изготовления различных деталей.

Основные принципы динамической стабилизации могут быть успешно применены к различным видам деталей, которые в процессе изготовления подвергаются значительным технологическим деформациям, имеют нежесткую конструкцию или при изготовлении которых применяют статические методы правки.

Необходимо отметить, что достигаемое улучшение качества деталей за счет динамической стабилизации невозможно достичь за ту же стоимость затрат при применении других методов. Во многих случаях вообще невозможно другими методами достичь того улучшения качества деталей, которое достигается за счет динамической стабилизации геометрических параметров.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мошин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. - М.: Машиностроение, 1967. -272 с.
2. Производственная программа фирмы «Galdabini», 2004.
3. Bräutigam H. Richten mit Walzenrichtmaschinen. ARKU, 1996, -96с.
4. Грачев С.В. Термическая обработка и сопротивление сплавов повторному нагружению. - М.: Металлургия, 1976. - 150 с.
5. Пастухова Ж.П., Рахштадт А.Г., Каплун Ю.А. Динамическое старение сплавов. - М.: Металлургия, 1985. -223 с.
6. Ракошиц Г.С., Кузьминцов В.Н. Машинная правка проката, поковок и деталей. - М.: Высшая школа, 1983. -199 с.
7. Борздыка А.М., Гецов Л.Б. Релаксация напряжений в металлах и сплавах. - М.: Металлургия, 1972. - 304 с.
8. Антонюк В.Е. Динамическая стабилизация геометрических параметров деталей знакопеременным нагружением. - Минск: УП «Технопринт», 2004. - 184 с.
9. Антонюк В.Е. Динамическая стабилизация геометрических параметров деталей циклическим нагружением // Материалы, технологии, инструменты. - 2004, № 3, Т.9. - С. 82-87.