

УДК 539.3

В.Е. АНТОНЮК, А.А. ШИПКО, доктора техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

Э.М. ДЕЧКО, д-р техн. наук
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТЕРЖНЕВЫХ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Особенностью мало жестких деталей является искажение их геометрической формы в результате хранения, сборки и эксплуатации. Известные способы правки мало жестких деталей не позволяют существенно снизить технологические остаточные напряжения, которые являются основной причиной искажения формы в процессе эксплуатации. В процессе их изготовления используются различные методы правки, которые в большинстве случаев основаны на нагружении статическими нагрузками. Для более эффективного снятия технологических остаточных напряжений и сохранения стабильной геометрической формы мало жестких стержневых деталей предлагается использовать технологию динамической стабилизации, основанную на циклическом нагружении.

Ключевые слова: правка, валы, торсионы, стволы, остаточные напряжения, динамическая стабилизация

К изделиям малой жесткости принято относить детали типа валов, осей и труб с соотношением отношения длины к диаметру свыше 30 [1, 2]. К этим изделиям относятся торсионные валы, бурильные трубы, оружейные и орудийные стволы, штоки и гидроцилиндры. Для стволов спортивного охотничьего оружия отклонение от прямолинейности оси канала ствола на базе 750 мм должно составлять не более 0,1 мм [3], для валов сельхозтехники диаметром от 30 до 50 мм и длиной от 2300 до 3200 мм из нержавеющей сталей требуемое отклонение от прямолинейности до 10 мкм на 1 погонный метр длины вала [1], для бурильных труб кривизна не должна превышать отношения 1:2000, а для трубы длиной 6 м кривизна должна быть не более 3 мм [4, 5].

Известные технологии изготовления деталей типа валов, осей и труб включают различные методы правки, которые используют правильные прессы, валковые правильные станы, правильные машины с вращающейся обоймой, роликовые правильные машины, правильно-растяжные машины, метод правки поверхностным пластическим деформированием, термические методы. Во многих случаях качество правки зависит от квалификации правильщика. Практически все вышеперечисленные методы правки относятся к статическим методам, не снимают остаточных напряжений и не гарантируют сохранения геометрической точности трубы в процессе эксплуатации. Традиционная правка изгибом мало жестких деталей повышает опасность снижения прочностных характеристик и образования трещин. В зависимости от технологических особенностей и возможностей производства для мало жестких деталей возможно применение способов механической, термомеханической и термической правки, однако каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

На основании имеющегося опыта правки мало жестких деталей типа дисков с использованием динамической стабилизации представляется целесообразным использовать этот способ правки при изготовлении мало жестких стержневых деталей.

Научное обеспечение динамической стабилизации разработано в Объединенном институте машиностро-

ения НАН Беларуси. При нагружении детали знакопеременной циклической нагрузкой происходит стабилизация геометрической формы детали относительно оси или плоскости приложения знакопеременной нагрузки и одновременно снятие остаточных напряжений. Для осуществления динамической стабилизации необходимо создание циклических упругопластических напряжений, которые приводят к возникновению петли гистерезиса. Для стабилизации геометрической формы необходимо привести достигнутую ширину петли гистерезиса в процессе циклического нагружения в нулевое положение [6].

Промышленное применение динамической стабилизации началось с 1975 года. Применение динамической стабилизации для дисков сцепления с наружными диаметрами от 220 до 450 мм обеспечило отклонение от плоскостности рабочих поверхностей в пределах 0,4...0,5 мм при исходной погрешности до 1,7 мм и соответственно биение рабочих поверхностей в пределах 0,6...0,8 мм при исходной погрешности до 2,5 мм. Никакими другими технологическими операциями не удавалось достичь таких результатов [7, 8]. Применение динамической стабилизации позволило достичь отклонения по плоскостности рабочих поверхностей дисков в пределах 0,15...0,25 мм при исходной погрешности до 2 мм и решить проблему обеспечения требуемой точности дисков бортовых фрикционов гусеничных машин [9, 10].

Из публикации [11] известно, что зарубежные изготовители мало жестких деталей применяют правку с многократным приложением знакопеременных нагрузок. При этом отмечается высокая точность деталей независимо от исходной погрешности, уменьшение внутренних напряжений, стабильность геометрической формы деталей при последующей обработке, сокращение операций термической обработки, увеличение срока службы. Однако в этой и других публикациях полностью отсутствовала информация о режимах такой правки.

В настоящее время динамическая стабилизация получила новый уровень развития в связи с использованием систем ЧПУ и средств программного обеспечения. В 2005 году динамическая стабилизация была реализована при разработке технологической концепции

и создании установки с ЧПУ для динамической стабилизации тормозных фрикционных дисков с диаметром до 950 мм, используемых в многодисковых маслоохлаждаемых тормозах тяжелых карьерных самосвалов. Для надежной работы тормозов требуется обеспечить отклонение от плоскостности не более 0,30 мм, по всем известным технологическим процессам такая точность была не достижима. [12–15].

Динамическая стабилизация малогабаритного стержневого изделия на примере торсионного вала. Область применения торсионных валов — шасси гусеничных машин специального и хозяйственного исполнения, узел подвески ходовой части этих машин включает торсионный вал, балансиры, ось балансира, гидравлический амортизатор (рисунок 1) [16].

Торсионные валы левых и правых подвесок расположены соосно и соединяют балансиры с корпусом машины. К корпусу машины торсион присоединяется шлицевым соединением. При производстве торсионного вала он предварительно закручивается в сторону, противоположную закручиванию при движении, и после этого проводится специальная термическая обработка. Для торсионов используется сталь 45ХНМФА и специальные технологические мероприятия, повышающие усталостную прочность торсионов (термообработка, шлифовка, накатка роликами, закаливание).

Динамическая стабилизация торсионного вала осуществляется за счет создания в нем циклического нагружения при вращении. В исходном положении торсионный вал зажимается с двух сторон по утолщенному наружному диаметру и приводится во вращение с изменением величины прогиба по заданной циклограмме (рисунок 2) [17].

Установка для динамической стабилизации состоит из станины, на которой расположены два шпиндельных устройства с быстродействующими патронами, в которых крепятся по наружным диаметрам торсионный вал (рисунок 3). Шпиндельные устройства имеют привод

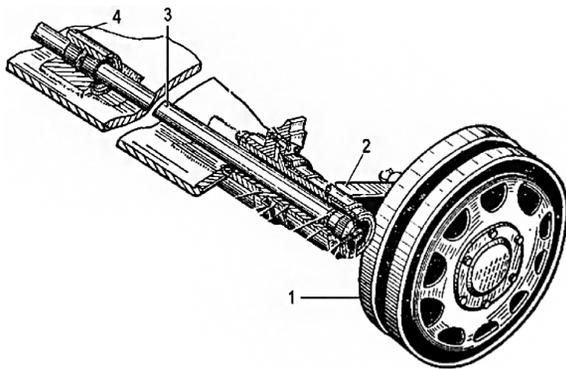


Рисунок 1 — Узел подвески ходовой гусеничной машины [16]:
1 — опорный каток; 2 — балансиры; 3 — торсион;
4 — средняя опора

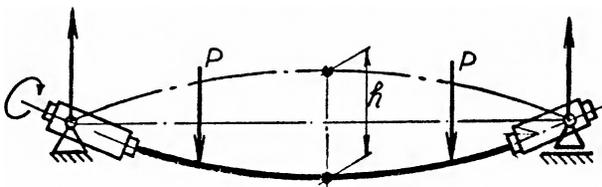


Рисунок 2 — Принципиальная схема динамической стабилизации торсионных валов

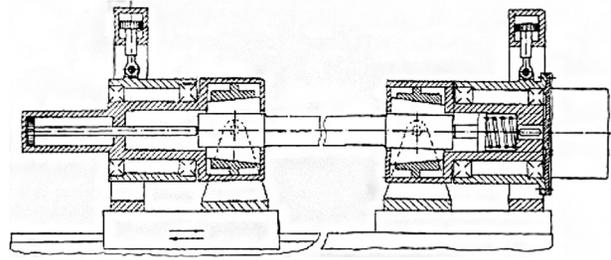


Рисунок 3 — Конструктивная схема установки для динамической стабилизации торсионных валов

вращения и силовой привод для их поворота относительно оси вращения торсионного вала.

Частота вращения патронов шпиндельного устройства и силового привода для поворота относительно оси вращения торсионного вала управляются по специальной циклограмме с помощью системы ЧПУ (рисунок 4). Система ЧПУ позволяет устанавливать управляющие программы, вносить в них корректировки, работать в автоматическом и ручном режимах.

Создана опытная установка для торсионных валов и проведены исследования динамической стабилизации торсионных валов.

Установка для динамической стабилизации торсионного вала имела следующие технические характеристики:

- длина подвергаемых динамической стабилизации торсионных валов — 740...1600 мм;
- диаметр рабочей части торсионных валов — 35...45 мм;
- частота вращения торсионного вала — 1000 мин⁻¹;
- максимальный прогиб вала при максимальной длине — 85 мм;
- суммарная мощность приводов — 17 кВт.

При правке торсионных валов длиной 1200 мм с диаметром рабочих шеек 40 мм достигнуто биение вала в пределах 0,3...0,5 мм при исходном биении от 5 до 10 мм.

Принципиальной особенностью динамической стабилизации торсионных валов было то, что высокая окончательная точность достигалась независимо от исходной погрешности, и не требовалось проводить измерения исходной погрешности. Результатом динамической стабилизации торсионных валов было сохранение достигнутой точности на протяжении хранения через 3 месяца, что позволяет сделать вывод об отсутствии остаточных напряжений после динамической стабилизации. Достигнутые результаты использования дина-

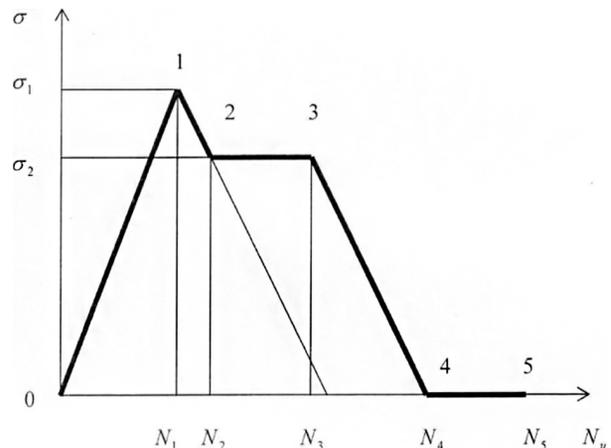


Рисунок 4 — Циклограмма динамической стабилизации

мической стабилизации позволяют прогнозировать как повышение точности, нагрузочной способности и ресурса торсионных валов, так и снижение технологических затрат на их изготовление.

Для дальнейшего внедрения динамической стабилизации при изготовлении стержневых маложестких деталей предлагается конструкторско-технологический классификатор по группировке стержневых маложестких деталей различных форм и конфигураций (таблица).

Разработанные теоретические положения динамической стабилизации позволили наметить пути применения этого процесса. Для этих целей рассмотрены различные подходы в технологии машиностроения [6] и предлагается конструкторско-технологическая классификация деталей применительно к процессу динамической стабилизации. Рассматриваются следующие группы деталей: диски, кольца, валы, балки, гильзы, трубы, орудийные стволы, рамы и др.

В зависимости от особенностей конфигурации деталей, их габаритов и соотношения размеров предлагается схематизация каждой из групп деталей и варианты нагружения для динамической стабилизации в таблице.

Выводы. 1. Предлагается использовать метод динамической стабилизации для повышения точности геометрических параметров стержневых маложестких

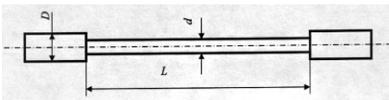
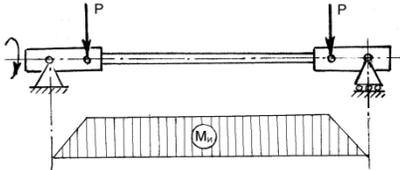
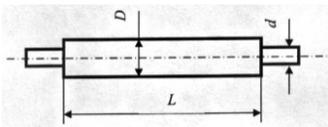
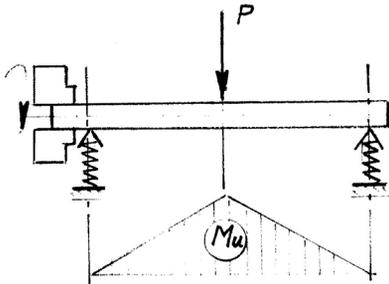
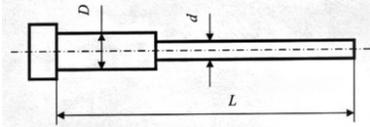
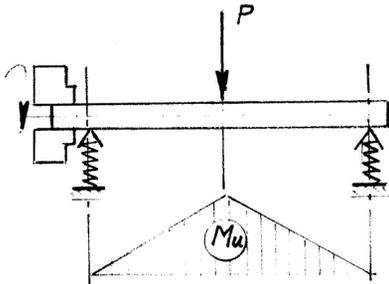
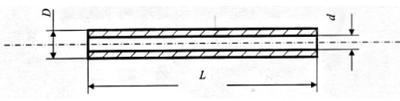
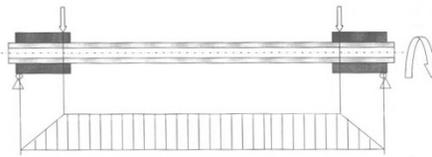
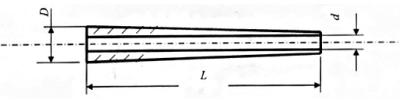
деталей с отношением длины к диаметру свыше 30 с достижением точности геометрической оси 0,25...0,40 мм на 1000 мм длины детали.

2. Для реализации метода динамической стабилизации для повышения точности геометрических параметров стержневых маложестких деталей разработан классификатор для деталей различной конфигурации с технологическими схемами динамической стабилизации.

3. Применение динамической стабилизации позволяет улучшить геометрические параметры деталей, их долговечность и сократить технологические затраты при изготовлении. Достигаемые при этом показатели геометрической точности значительно превосходят достигаемую точность при использовании других методов.

4. Требования к современным конструкциям машин по снижению металлоемкости выполняются за счет применения маложестких деталей. Изготовление маложестких деталей связано с необходимостью изготовления этих деталей с отсутствием остаточных напряжений, которые в ряде случаев являются причиной преждевременного выхода из строя. Использование динамической стабилизации в технологических процессах изготовления маложестких деталей позволяет одновременно обеспечивать высокую геометрическую точность при снятии остаточных напряжений.

Таблица — Технологическая классификация деталей применительно к методу динамической стабилизации

Группа деталей	Схема детали-представителя	Соотношение параметров деталей	Схема нагружения при динамической стабилизации
Валы	Торсионные валы 	Отношение длины к рабочему диаметру $L/d > 30$	Нагружение изгибом с вращением 
	Шлицевые валы 	Отношение длины к диаметру шлиц $L/D < 30$	Нагружение изгибом с вращением 
	Полуоси 	Отношение длины к большому диаметру $L/D < 30$ и к меньшему диаметру $L/d > 30$	Нагружение изгибом с вращением 
Цилиндры	Гидроцилиндры, трубы 	Отношение длины к наружному диаметру $L/d > 30$	Нагружение изгибом с вращением 
	Орудийные стволы 		

Список литературы

1. Манило, И.И. Правка длинномерных автотракторных деталей (тенденции развития методов и оборудования) / И.И. Манило. — С.-Пб.: МАНЭБ, 1999. — 36 с.
2. Манило, И.И. Параметры и критерии оптимизации процесса правки валов / И.И. Манило // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2005. — № 1. — С. 48–51.
3. Способ правки цилиндрических заготовок: пат. 2203155 РФ / М.М. Миронов, В.А. Булычев, Е.И. Минаков; дата публ. 27.04.2003.
4. Трубы бурильные стальные универсальные. Общие технические условия: ГОСТ Р 51245-99. — введ. 28.01.1999. — М.: Госстандарт России, 1999. — 28 с.
5. Трубы бурильные. Руководство по эксплуатации. — Самара: ВНИИТнефть, 2010. — 48 с.
6. Антонюк, В.Е. Динамическая стабилизация геометрических параметров деталей знакопеременным нагружением / В.Е. Антонюк. — Минск: Технопринт, 2004. — 184 с.
7. Правка ведомых дисков муфт сцепления методом «бегущей волны» деформации. // В. Е. Антонюк [и др.]. — Минск: БелНИИТИ, 1989. — 36 с.
8. Антонюк, В.Е. Динамическая правка дисков сцепления / В.Е. Антонюк // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2005. — № 3. — С. 48–49.
9. Антонюк, В.Е. Динамическая стабилизация деталей типа дисков / В.Е. Антонюк // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2005. — № 7. — С. 24–29.
10. Антонюк, В.Е. Технологические возможности повышения точности изготовления дисков и валов // Технология машиностроения. — 2005. — № 6. — С. 43–48.
11. Хенкин, М.Л. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении / М.Л. Хенкин, И.Х. Локшин. — М.: Машиностроение, 1974. — 256 с.
12. Антонюк, В.Е. Методические основы программного расчета режима нагружения динамической стабилизации фрикционных дисков / В.Е. Антонюк, А.С. Скороходов, В.В. Рудый // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2009. — № 2. — С. 20–27.
13. Программный расчет режима нагружения динамической стабилизации фрикционных дисков / В. Е. Антонюк [и др.] // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. — 2009. — № 2. — С. 86–92.
14. Особенности технологии и оборудования для динамической стабилизации фрикционных дисков многодисковых маслоохлаждаемых тормозов / В.Е. Антонюк [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2008. — № 4(5). — С. 72–76.
15. Выбор рациональных параметров установок для динамической стабилизации фрикционных дисков / В.Е. Антонюк [и др.] // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. — 2009. — № 4. — С. 27–31.
16. Стрелков, А.Г. Конструкция быстроходных гусеничных машин: учебное пособие / А.Г. Стрелков. — М.: МГТУ «МАМИ», 2005. — 616 с.
17. Правка валов изгибом с вращением / В.Е. Антонюк [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1985. — № 9. — С. 50–51.
18. Антонюк, В.Е. Технологическая классификация принципов динамической стабилизации параметров деталей / В.Е. Антонюк, Э.М. Дечко, В.В. Рудый // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. — 2006. — № 12. — С. 12–18.

Antonyuk V.E., Shipko A.A., Dechko E.M.

Dynamic stabilization of rod details with small rigidity

The data on possibilities of processing of details with small rigidity with the use of dynamic stabilisation are obtained. In the course of their manufacturing various methods of processing, which in most cases based on static loadings, are used. Dynamic stabilisation is based on cyclic loadings and allows to eliminate technological residual pressure and provide stable high geometrical accuracy of details with small rigidity.

Поступил в редакцию 11.07.2016.