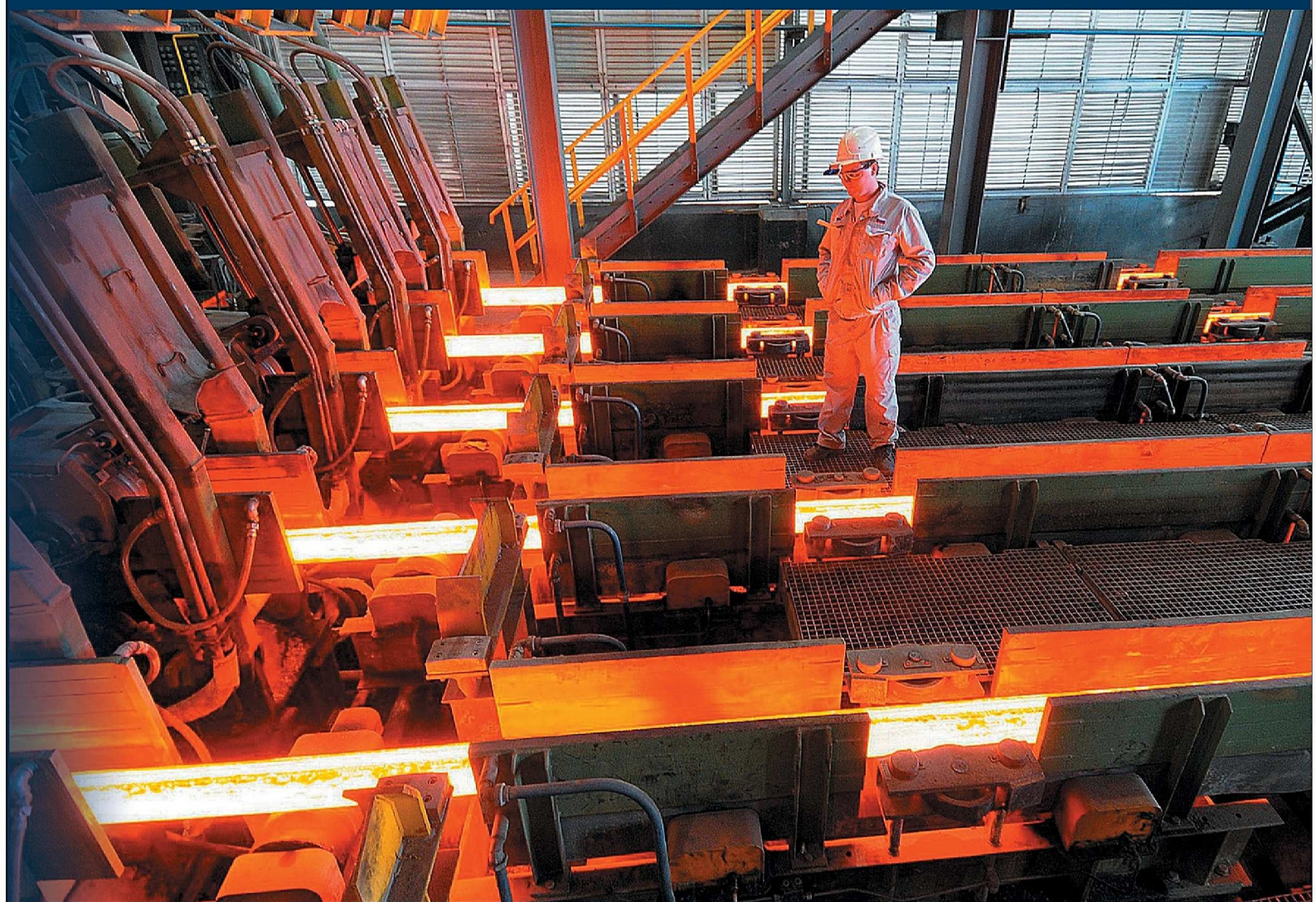


ISSN 2311-1364

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

научно-технический журнал



2017, №2 (9)



Журнал индексируется системами РИНЦ и Google Scholar.
Сведения о журнале публикуются в международной системе «Ulrich's Periodicals Directory»

Редакционная коллегия

Главный научный редактор

Корчунов А.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Заместитель главного научного редактора

Анцупов В.П. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Бобарикин Ю.Л. – «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», доцент, кандидат технических наук, г. Гомель, Республика Беларусь.

Горбатюк С.М. – Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», профессор, доктор технических наук.

Кузьминов А.Л. – «Череповецкий государственный университет», профессор, доктор технических наук.

Раскатов Е.Ю. – «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор, доктор технических наук.

Трофимов В.Н. – «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор, доктор технических наук.

Ответственный редактор

Слободянский М.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кандидат технических наук.

Журнал основан в 2012 г.
Периодичность выхода – 2 номера в год.

Адрес редакции:
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.
Тел.: (3519) 29-85-07, 29-84-51
Website: www.momz.magtu.ru
E-mail: momz-magtu@yandex.ru
momz-magtu@mail.ru

Журнал отпечатан издательским центром МГТУ им. Г.И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.
Выход в свет 25.12.2017. Заказ 530.
Тираж 300 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

И.В. Гадолина, А.А. Монахова, Л. Папич Применение быстрой переналадки SMED для оптимизации производства	3	I.V. Gadolina, A.A. Monakhova, L. Papich The use of SMED for production optimization	3
Б.А. Романцев, Ю.В. Гамин, А.В. Гончарук, А.С. Алешенко Автоматизированная линия винтовой прокатки полых заготовок малого диаметра	9	B.A. Romantsev, Yu.V. Gamin, A.V. Goncharuk, A.S. Aleshchenko Automatic screw rolling line for small-diameter hollow billets	9
Э.А. Гарбер, Д.З. Гатиятуллин Причины образования на поверхности горячекатаных стальных широких полос дефекта «остаточная окалина» и методы его устранения	18	E.A. Garber, D.Z. Gatiyatullin Factors that cause residual scale surface defects in hot-rolled wide strips and methods of their elimination	18
И.В. Горлов, Е.В. Полетаева, М.Г. Рахутин Использование групповой технологии при производстве и ремонте торфяных машин	22	I.V. Gorlov, E.V. Poletaeva, M.G. Rakhutin The use of group technologies in the manufacturing and maintenance of peat machines	22
С.Г. Комаишко, Г.Н. Кулик Применение гидроцилиндра для выполнения полезной работы при производстве металлоизделий	27	S.G. Komaishko, G.N. Kulik The use of hydraulic cylinder for efficiency in steel product manufacturing	27
Л.Т. Плаксина, С.В. Кандалов, М.О. Костромин, В.А. Копысов Совершенствование технологии ремонтной наплавки колеса мостового крана	31	L.T. Plaksina, S.V. Kandalov, M.O. Kostromin, V.A. Kopysov Optimization of overhead crane wheel repair technique by welding	31
В.Н. Трубников, С.Г. Боев, С.А. Сергеев Методика вероятностного расчета цепных муфт	37	V.N. Trubnikov, S.G. Boev, S.A. Sergeev Chain coupling design technique based on probability calculation	37
М.П. Шишкарёв Применение принципа косвенного регулирования в адаптивной фрикционной муфте	41	M.P. Shishkarev The principle of indirect adjustment applied for adaptable friction coupling	41
Е.А. Максимов, Р.Л. Шаталов, Е.П. Устиновский, П.Б. Уткин Расчет мощности индивидуального привода роликов рольганга роликовой правильной машины	55	E.A. Maksimov, R.L. Shatalov, E.P. Ustinovsky, P.B. Utkin Power calculation for a separate roller drive of the roller leveler	55
М.З. Певзнер, Ю.Л. Апатов, Д.О. Виноградов, К.В. Иванов-Польский, Е.А. Куимов О совершенствовании фрезерования цветного проката	59	M.Z. Pevzner, Yu.L. Apatov, D.O. Vinogradov, K.V. Ivanov-Polsky, E.A. Kuimov On the improvement of the non-ferrous roll strip milling	59
Р.В. Залилов Повышение эффективности освоения практических навыков при подготовке студентов технических специальностей	67	R.V. Zalilov How to help students of engineering courses better acquire practical skills	67



УДК 65.01; 658.6

И.В. Гадолина¹, А.А. Монахова², Л. Папич³

¹ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук (ИМАШ РАН)

г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский государственный
технический университет

имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)» (МГТУ им. Баумана)

г. Москва, Россия

³Технический факультет, University of Kragujevac
г. Чачак, Сербия

E-mail: gadolina@mail.ru

Дата поступления 10.11.2017

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАЛАДКИ SMED ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация

Для оптимизации металлургического производства предлагается применять систему быстрой переналадки, SMED. Внедрение данного подхода позволит повысить (в частности) коэффициент технического использования оборудования за счет сокращения времени непроизводительных простоев. В данном случае коэффициент технического использования используется как оптимизационный параметр.

Ключевые слова: быстрая переналадка, техническое обслуживание и ремонт, коэффициент технического использования, размер партии.

Введение

Повышение надежности работы механического оборудования металлургических заводов может осуществляться по нескольким направлениям. Наверно, в первую очередь следует обратить внимание на повышение прочности и долговечности изделий [1], что непосредственно связано с качеством изготовления и контроля. Но нельзя обойти вниманием такую важную составляющую, как организация производства.

Работы ТОиР (Техническое Обслуживание и Ремонт) обеспечивают поддержание оборудования в работоспособном состоянии [2]. Работы ТОиР обеспечивают реализацию некоторых важнейших этапов жизненного цикла изделия.

В работе [3] показано, как менялись стратегии технического обслуживания за последние полвека в связи с существующими реалиями и теми задачами, которые была призвана выполнять техника соответствующего этапа развития. Рассмотрен по-

следовательный переход от стратегий «ремонт по отказу» к «обслуживанию по состоянию» и далее к автоматизированным системам ТОиР, «CMMS – Computer Maintenance Management System. Последние предполагают использование программ построения сетевых графиков (например, PROJECT MANAGER, входящий в MICROSOFT OFFICE).

Основная часть

Обслуживание, ориентированное на надежность, в конечном счете, призвано повысить комплексные показатели качества оборудования, а именно, коэффициент готовности K_r и коэффициент технического использования $K_{ти}$ [4].

$$K_r = \frac{A_p}{A_p + A_o} \quad (1)$$

$$K_{ти} = \frac{A_p}{A_p + A_o + A_n} \quad (2)$$

где A_p - суммарное время нахождения изделия в работоспособном состоянии; A_o - суммарное время нахождения изделия

в неисправном состоянии (отказ); A_H - время, которое потребовалось на переналадку оборудования. Показатели K_T и K_{TH} безразмерные, а величины A_p, A_o и A_H имеют размерность времени (например, часы).

Из структур формул видно, что $K_T < 1$, $K_{TH} < 1$ и $K_T > K_{TH}$. Степень близости показателя K_T к единице свидетельствует о высокой надежности оборудования, а выполнение условия $K_{TH} \rightarrow 1$ характеризует соответствие уровня организации производства современным стандартам.

Математические аспекты, связанные с интерпретацией комплексного показателя K_T рассмотрены в [5]. Ранее нами был разработан метод, позволяющий построить доверительные интервалы для случайной величины K_T [6].

Важным ресурсом повышения показателя K_{TH} является сокращение времени переналадки, в связи с чем мы предлагаем обсудить относительно новый подход, являющийся одним из методов Бережливого производства, а именно быстрая переналадка (SMED – Single Minute Exchange of Dies).

Появление и совершенствование технологии быстрой переналадки неразрывно связано с развитием концепции бережливого производства. На заводах компании Toyota в 1969 г. были предприняты первые радикальные шаги по сокращению времени переналадки оборудования, которым предшествовала 19-летняя практика, позволившая С. Синго сделать свое открытие.

Автор концепции «быстрая переналадка» Сигео Синго так описывает важнейшие принципы своего подхода [7]:

- ✓ разграничение внутренних и внешних операций;
- ✓ замена внутренних операций на внешние;
- ✓ стандартизация функций, а не форм;
- ✓ использование функциональных зажимов, по возможности отказ от крепежа;
- ✓ максимальное использование промежуточных приспособлений;
- ✓ операции проводить параллельно;

- ✓ выполнение операций без последующих корректировок;
- ✓ применение механизации.

В основу метода легло разделение операций переналадки на две категории:

1) Внутренние, которые выполняются ТОЛЬКО при остановке оборудования. Например, пресс-форму можно заменить только при выключенном прессе;

2) Внешние действия, с другой стороны, могут быть выполнены во время работы оборудования. Например, болты крепления пресс-форм можно подобрать и рассортировать и при работающем прессе.

Идея ускорения состоит в замене как можно большего числа внутренних операций на внешние. Это в несколько раз сокращает время переналадки и увеличивает K_{TH} .

На рисунке 1 показано распределение K_{TH} для одной из подсистем угольно-добывающего экскаватора [6]: (а) – исходный; (б) после гипотетического проведения мероприятий SMED, которые вдвое сократили непроизводственные потери времени. Распределение построено с помощью разработанного авторами метода [6], основанного на статистическом бутстрепе [8]. Данный пример носит иллюстративный характер.

В таблице 1 приведена сводка статистических характеристик (SUMMARY в R) распределений K_{TH} , показанных на рисунке 1. Данные таблицы, а также графики на рисунке 1 выполнены в среде программирования R [9].

Из рисунка 1 и таблицы 1 видно, что медианное значение показателя надежности при гипотетическом проведении операций быстрой переналадки K_{TH} смещается в сторону больших величин, а именно, увеличивается до величины 0.967.

Концепция быстрой переналадки является одним из направлений развития «бережливого производства». В рамках последнего, например, осуществляется борьба с непроизводственными запасами за счет перехода на более мелкие серии. В экономике будущего осуществляется клиентно-ориентированное производство, т. е. производится именно то, что нужно потребителю, причем в требуемом количестве.

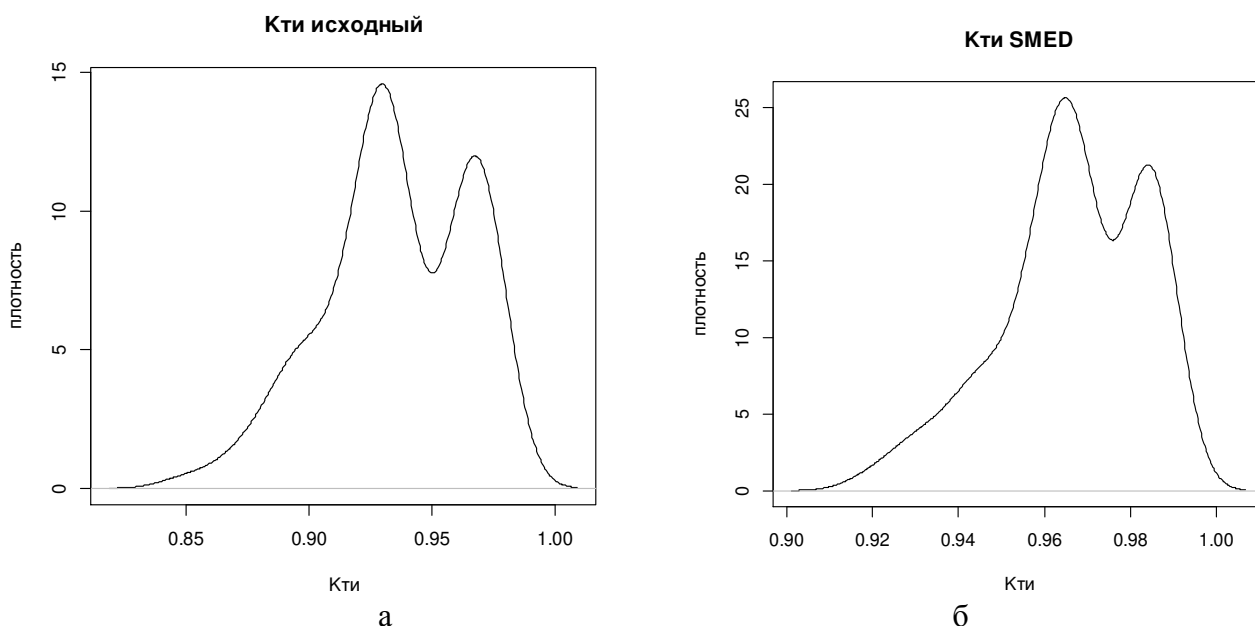


Рисунок 1. График плотности вероятности $K_{ти}$ для подсистемы угольно-добывающего экскаватора: а- исходный; б- после проведения мероприятий SMED

Таблица 1

Статистическая сводка по коэффициентам готовности до и после SMED

	Минимальное значение $\min(K_{ти})$	Первый квантиль Q_1	Медиана	Среднее значение	Третий квантиль Q_3	Максимальное значение $\max(K_{ти})$
Исходные данные	0.7850	0.8972	0.9302	0.9244	0.9626	0.9776
С применением SMED	0.9191	0.9591	0.9670	0.9665	0.9828	0.9889

Для того, чтобы малые партии стали экономически оправданными, необходимо сокращать время на переналадку, о чем было сказано выше. В работе [10] приведены формулы, позволяющие оценить экономическую целесообразность определенного размера партии.

В начале рассчитывается удельное время изготовления детали с учетом времени наладки:

$$t = (p \cdot K_1 + S_1) / K_1, \quad (3)$$

где p - время изготовления одной детали; S_1 - время переналадки до проведения мероприятий; K_1 - размер партии до проведения мероприятий.

При расчете нового размера партии надо принять во внимание, что удельное время изготовления остается неизменным:

$$K_2 = S_2 / (t - p), \quad (4)$$

где S_2 – время переналадки после проведенных мероприятий.

Отношение K_1/K_2 показывает, во сколько раз можно сократить партию запуска и оно зависит от отношения S_1/S_2 .

Средний уровень запаса готовых изделий

$$C = (K + d) / 2 \quad (5)$$

где d – минимальный запас готовых изделий.

Так как размер партии зависит от времени переналадки, то и запас будет зависеть от времени переналадки. Проведя необходимые преобразования, авторами работы [10] была получена зависимость снижения уровня запасов, полученная в результате снижения времени переналадки:

$$\Delta C = (S_2 + d_2s + 2Ds)/(S_1 + d_1s + 2Ds) \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что при уменьшении времени переналадки повышается оборачиваемость запасов и материалов. При этом сокращается потребность в складских помещениях и снижается уровень затрат на хранение.

На рисунке 2 схематически показано как влияют затраты на переналадку на экономически обоснованный размер партии. Видно, что при снижении времени на переналадку значительно снижается экономически обоснованный размер партии.

Примеры применения

Приемы быстрой переналадки SMED применяются в разных областях промышленности (не только в машиностроении). В [7] описаны, в частности, примеры применения для оптимизации смены патронов в полуавтоматическом токарном станке, на токарно-винторезном станке, при установке сменных шестерен. Известны примеры применения при нанесении шаговой метки на универсальной гравировальной машине.

Технические приемы для внедрения быстрой переналадки, сложны и требуют

специальных знаний. Приступать к ним надо исходя из особенностей конкретного оборудования и процессов его переналадки. Например, для точного станочного оборудования наиболее сложным становится устранение регулировки, без чего при дефиците квалифицированных наладчиков невозможно радикально сократить переналадку. Для предприятий, связанных с изготовлением проволоки или кабельной продукции, наиболее важные и весомые технические решения лежат в области соединения концов и заправки проволоки. На очень многих производственных предприятиях решаются задачи установки прессовых и литейных форм (обеспечение быстроты и точности позиционирования). В случаях, когда переналадка ведется не на отдельных единицах оборудования, а на всей автоматизированной производственной линии на первый план выдвигается решение задач командной работы операторов, наладчиков-механиков и наладчиков оборудования промышленной автоматики. Только за счет грамотной организации их переходов с одного оборудования на другое иногда удается сократить время переналадки в 3-4 раза, а это обеспечивает солидный выигрыш в доступном времени работы линии.

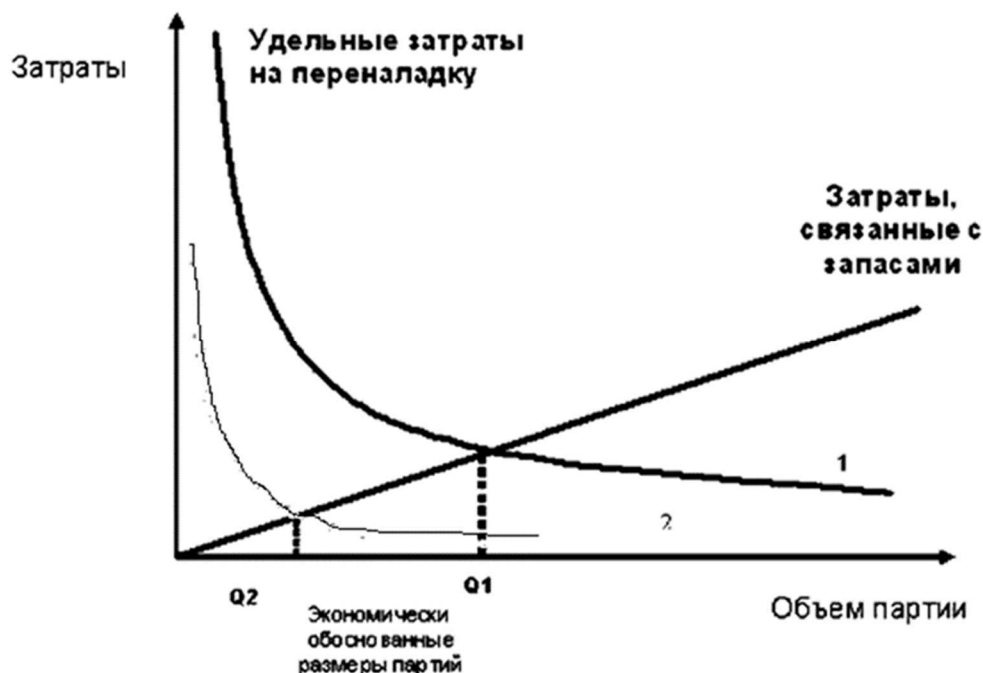


Рисунок 2. Схематическое изображение зависимости экономически обоснованного размера партии при сокращении времени на переналадку (тонкой линией показан график после перехода на SMED) [11]

На рисунке 3 приведены две схемы, иллюстрирующие техническое решение для внедрения быстрой переналадки штампов [7]. На практике часто встает вопрос о дошлифовке штампов. При этом надо вставлять прокладки и корректировать высоту штампов. Один из способов решения этой проблемы – это замена блока на более толстый, как раз на ту величину, которая со-

шлифована. Блоки, используемые при таком способе корректировки, обычно крепятся к нижней поверхности нижней половины штампа. В некоторых случаях они могут крепиться к верху верхней половины штампа (рисунок 3). Данный способ может рассматриваться как одно из применений перевода внутренней функции во внешние.

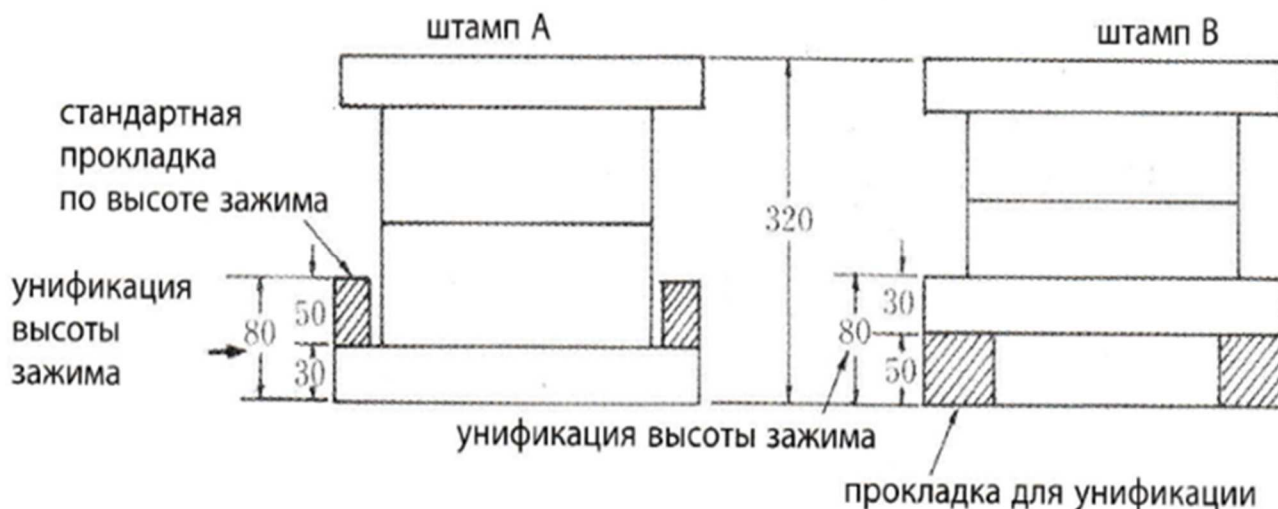


Рисунок 3. Стандартизация высоты зажима штампа

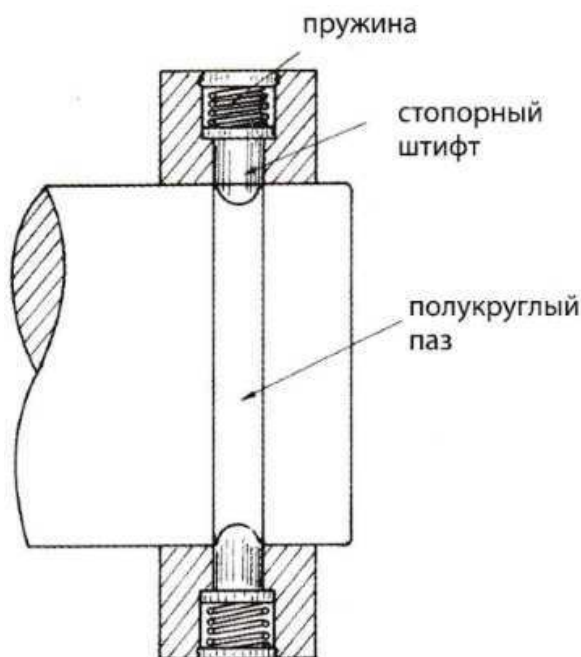


Рисунок 4. Пружинный зажим для установки сменной шестерни

Существенный резерв времени кроется в замене резьбового крепежа на зажимы. Метод прямого крепления требует большого числа оборотов винта. Ключом к разработке метода в соответствии со SMED является понимание роли числа витков резьбы, обеспечивающих необходимую силу трения для надежной работы механизма. Необходимо пересмотреть подход, основанный на применении исключительно резьбовых соединений. На рисунке 4 показан пример пружинного зажима для закрепления шестерни на валу. Упругая энергия пружины обеспечивает смену шестерен «в одно касание». К механизмам подобного назначения также относятся кулачки, клинья, конусные штифты, выталкиватели. Перспективными являются также вакуумные и магнитные методы для установки деталей.

Заключение

Рассмотрены основные принципы одного из инструментов «бережливого производства», а именно, быстрой переналадки,

SMED. Показана важность данного подхода на современном этапе развития технологий. Приведены примеры инженерных решений. В качестве оптимизационного параметра предложено использовать комплексный показатель надежности, а именно: коэффициент технического использования $K_{ти}$.

Библиографический список

1. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М. Машиностроение. 1993. 364с.
2. Ченцов Н.А., Седуш В.Я. Сущности технического менеджмента системы ТОиР промышленного предприятия// Механическое оборудование металлургических заводов. 2014. №2. С. 25-35.
3. Антоненко И. Н., Крюков И. Э. Информационные системы и практики тоир: этапы развития // Главный энергетик. 2011. №10. С.37-44.
4. Зайнетдинов Р.И., Плохих И.В. Уточненная оценка и прогнозирование функции готовности поезда «Сапсан» на основе имитационного моделирования процесса эксплуатации // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 12. С.11-19.
5. Беврани Х., Королев В.Ю. Несколько замечаний об асимптотическом поведении выборочного коэффициента готовности// Теория вероятности и ее применения. 2016. том. 61. №2. С.384-394.
6. Папич Л., Гадолина И.В., Зайнетдинов Р.И. Интервальная оценка коэффициента готовности роторного экскаватора на основе БУТСТРЕП-моделирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2016. №6 С. 55-62.
7. С. Синго. Быстрая переналадка. Революционная технология оптимизации производства. Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций». Перевод с английского под ред. Ю.Адлера. Москва, ЦентрОргПром. 2006. 343 с.
8. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.
9. R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
10. Мартынов Р.С. Сокращение времени переналадки оборудования как фактор повышения эффективности использования материальных ресурсов на предприятии//Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2011. С. 87-90.
11. Куприянова Т.М., Растимешин В.Е. Реализация технологии быстрой переналадки: российский опыт info@tpm-center.ru

Information about the paper in English

I.V. Gadolina¹, A.A. Monakhova², L. Papich³

¹Federal budget - funded research Institute of Machines Science named after A.A.Blagonravov of the Russian Academy of Sciences Moscow, Russian Federation

²Federal state budgetary institution of higher professional education Bauman Moscow state technical university Moscow, Russian Federation

³Faculty of Technical Sciences Čačak, Serbia

E-mail: gadolina@mail.ru

Received 10.11.2017

THE USE OF SMED FOR PRODUCTION OPTIMIZATION

Abstract

The use of the Single-Minute Exchange of Dies (or, SMED) technology is proposed for steel production optimization. The introduction of this technology can help increase the equipment availability (K_{ti}) due to reduced downtime. In this particular case the K_{ti} ratio is used as an optimization parameter.

Keywords: Single-Minute Exchange of Dies, maintenance and repairs, availability, batch size.



УДК 621.77

Б.А. Романцев, Ю.В. Гамин,
А.В. Гончарук, А.С. Алешенко
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»
г. Москва, Россия
E-mail: gamin910@gmail.com
Дата поступления 02.10.2017

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК МАЛОГО ДИАМЕТРА

Аннотация

В статье описаны новая технология и оборудования для получения полых заготовок деталей диаметром 30...60 мм. Рассмотрены особенности конструкции трехвалкового прошивного стана, калибровочного пресса с электромеханическим приводом и камеры контролируемого охлаждения шнекового типа. Автоматизированная линия винтовой прокатки обеспечивает получение точных полых заготовок с производительностью до 180 шт./час.

Ключевые слова: трехвалковый прошивной стан; винтовая прокатка; калибровочный пресс; автоматизированная линия.

Введение

Для массового производства заготовок деталей машиностроительной отрасли типа втулки, муфты, полые оси, поршни и др. используются в основном технологии штамповки и прессования в горячем и холодном состоянии, прокатки, а также технологии механической обработки резанием [1-4], каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. Основными задачами современного производства являются его экономичность и энергоэффективность, высокая производительность, возможность расширения или изменения сортамента продукции без значительных вложений. Результаты многочисленных исследований и внедрений [3, 5-7] показали, что процесс прокатки может быть реализован для широкого размерного и типового сортамента заготовок деталей машиностроения. Благодаря непрерывности процесса винтовая прокатка обладает сравнительно высокой производительностью, позволяет получать заготовки, приближенные по форме к готовому изделию, практически не имеет ограничений в марочном сортаменте получаемых изделий. На кафедре Обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС» были разработаны и успешно внедрены несколько

линий для производства полых заготовок прокаткой [3, 8]. Для получения полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм со сквозным и глухим отверстием была разработана технологическая схема (рисунок 1), основными операциями которой являются:

- 1 – резка прутка на штучные заготовки;
- 2 – механическая зацентровка переднего торца;
- 3 – нагрев заготовок в индукторе;
- 4 – выдержка заготовок в термостате;
- 5 – прошивка в трехвалковом стане винтовой прокатки;
- 6 – калибровка донной части;
- 7 – профильная протяжка;
- 8 – контролируемое охлаждение.

Для реализации предложенной технологической схемы было разработано оборудование автоматизированной линии винтовой прокатки (АЛВП), в состав которой входят следующие основные машины и устройства (рисунок 2): нагревательное устройство 1 (индуктор и термостат), трехвалковый стан винтовой прокатки 3, механический пресс 4 для калибрования и камера контролируемого охлаждения заготовок 4 [9].

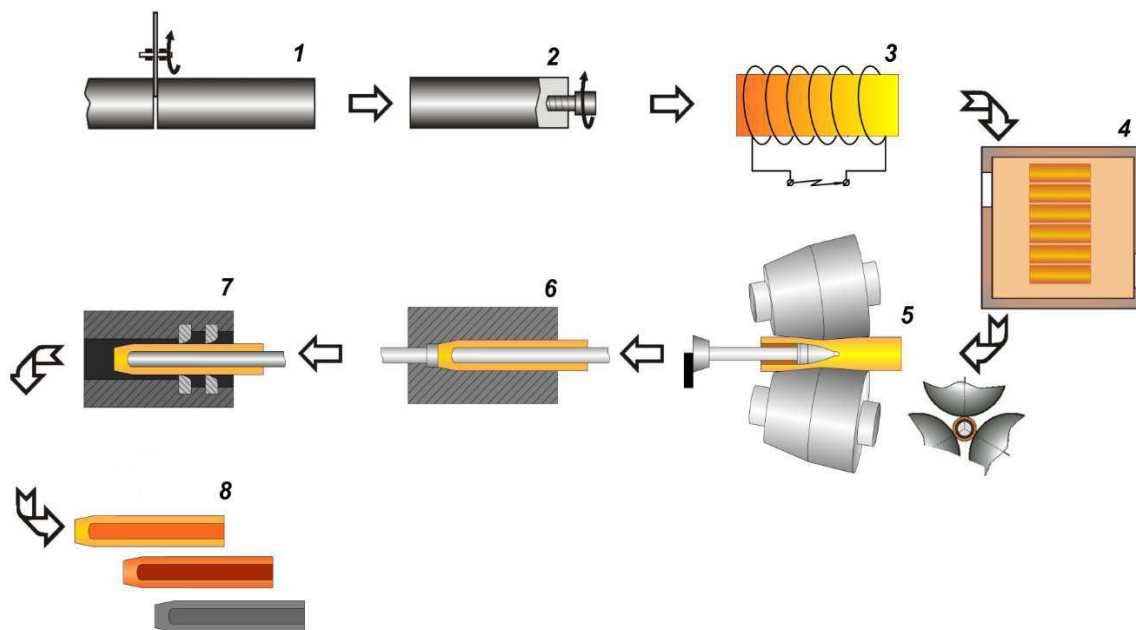


Рисунок 1. Схема технологического процесса получения полых заготовок диаметром 30...60 мм

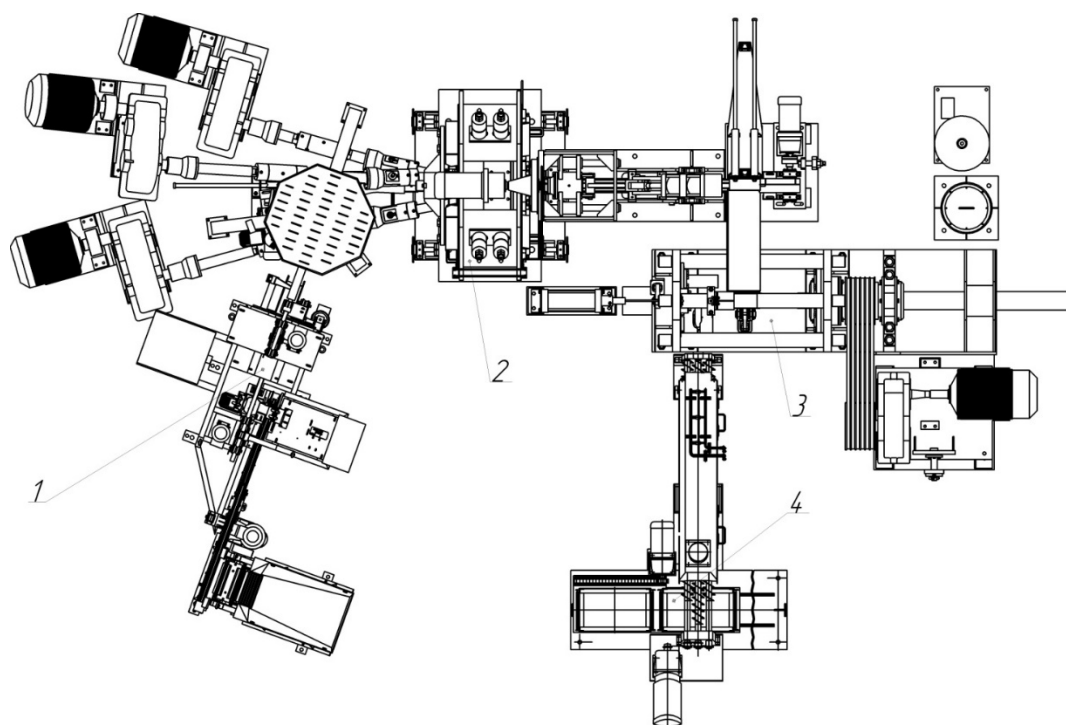


Рисунок 2. Состав оборудования линии АЛВП:

- 1 – нагревательное устройство; 2 – трехвалковый стан винтовой прокатки;
3 – калибровочный пресс; 4 – камера контролируемого охлаждения

Нагревательное устройство, прошивной стан и пресс связаны между собой автоматизированными передаточными механизмами. Линия оснащена датчиками для определения положения заготовки и приборами контроля температуры. Производительность оборудования составляет

180 шт./час при работе с циклом 20 с. В зависимости от сортамента получаемых изделий предусмотрено три режима работы оборудования с различным сочетанием операций деформирования.

Далее рассмотрим конструкцию основного оборудования для формоизменения заготовки.

Прошивной стан

Для прошивки заготовок в гильзу раз-работан трехвалковый стан винтовой про-катки. Его техническая характеристика представлена в таблице 1.

Рабочая клеть (рисунок 3) состоит из станины закрытого типа 1 в расточках кото-рой под углом 120° установлены три кас-сеты 3 с рабочими валками 2. Валки развер-нуты на угол подачи 12° и угол раскатки 5°.

Кассета 3 снабжена расточками, в ко-торых установлен рабочий валок 2 с подуш-ками 4. Валок смонтирован в подушках на подшипниках скольжения, смазка которых осуществляется системой густой смазки че-рез отверстия в подушках. Нижний валок является стационарным.

Клиновой нажимной механизм рабо-чей клетки предназначен для одновремен-ного перемещения двух верхних кассет 3 с

валками 2 при изменении величины ка-либра, восприятия усилия прокатки и пере-дачи его на станину 1. В состав нажимного механизма входят два клина 5 с общим при-водом, состоящим из мотор-редуктора 6, зубчатого зацепления 7, пары винт-гайка и траверзы 8, которая соединена с клиньями при помощи болтов.

Установка клетки на ось прокатки при переходе на другой диаметр заготовки осу-ществляется при помощи четырех клиньев 9, расположенных между основанием ста-нины 1 и рамой (см. рис. 3), на которой смонтированы рабочая клеть, входная и вы-ходная стороны. Перемещение клина 9 осу-ществляется путем вращения винта относи-тельно гайки, закрепленной на раме.

Таблица 1

Техническая характеристика трехвалкового министана винтовой прокатки

Параметр	Значение параметра
Рабочие валки:	
диаметр в пережиме, мм	150
длина бочки, мм	180
частота вращения, мин ⁻¹	60
угол подачи, град	12
угол раскатки, град	5
Станина рабочей клетки	Сварная закрытого типа
Нажимное устройство	Клинового типа
Главный привод:	
тип	Индивидуальный
мощность электродвигателя, кВт	3х30
крутящий момент на одном валке, кН·м	10
Выходная сторона с боковой выдачей гильз:	
тип	Рычажно-механическая с пневмоприводом
осевое усилие на оправку, кН	До 80
длина оправочного стержня, мм	300-350
диаметр оправки, мм	20-45
Размеры исходной заготовки, мм:	
диаметр	30-60
длина	50-150
Размеры гильзы с дном, мм:	
диаметр	30-60
длина	90-250
толщина дна	5-20

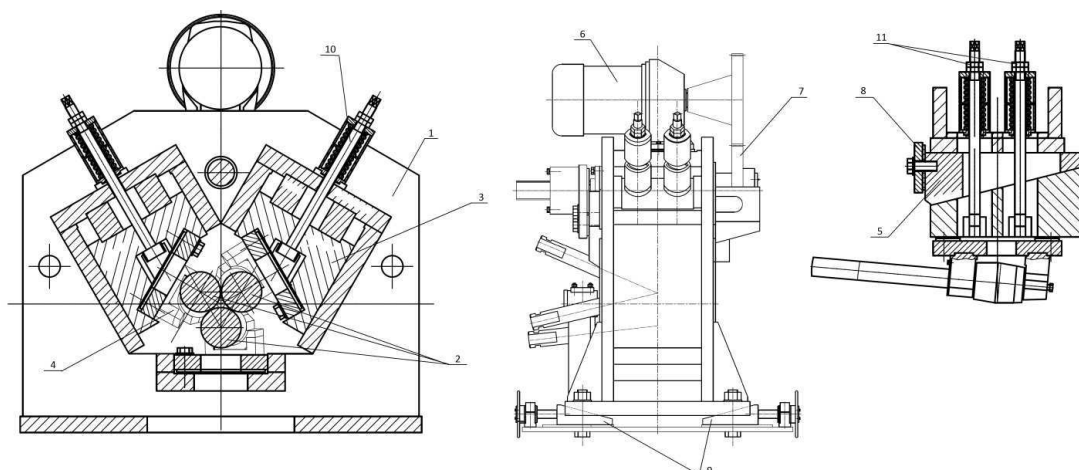


Рисунок 3. Рабочая клеть прошивного стана

Уравновешивающее устройство, представленное на рисунке 3 справа, служит для выбора зазоров между станиной 1, нажимными клиньями 9 и кассетами 3 и закреплено на станине 1. Прижим кассеты 3 с валком 5 к клину обеспечивается с помощью двух подпружиненных тяг 10. Пружины предварительно заневоливаются гайками 11 на усилие, превышающее вес кассеты с рабочим валком и шпинделем.

Входная сторона (приемно-задающий стол) (рисунок 4) состоит из рамы 5, на которой смонтированы желоб с вводной проводкой 1 и вталкиватель заготовок 2, приводимый в движение приводными роликами 3 и установленный в опоре с втулкой 4. Привод вталкивателя осуществляется от мотор-редуктора мощностью 1 кВт.

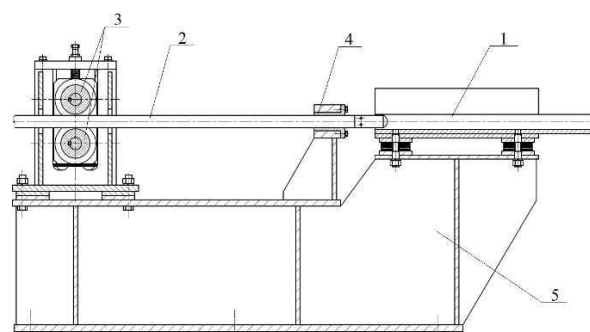


Рисунок 4. Входная сторона прошивного стана

Выходная сторона стана имеет специальную быстродействующую конструкцию (рисунок 5), которая состоит из упорной головки и системы рычагов, позволяющей получать полые заготовки со сквозным и глухим отверстием [10].

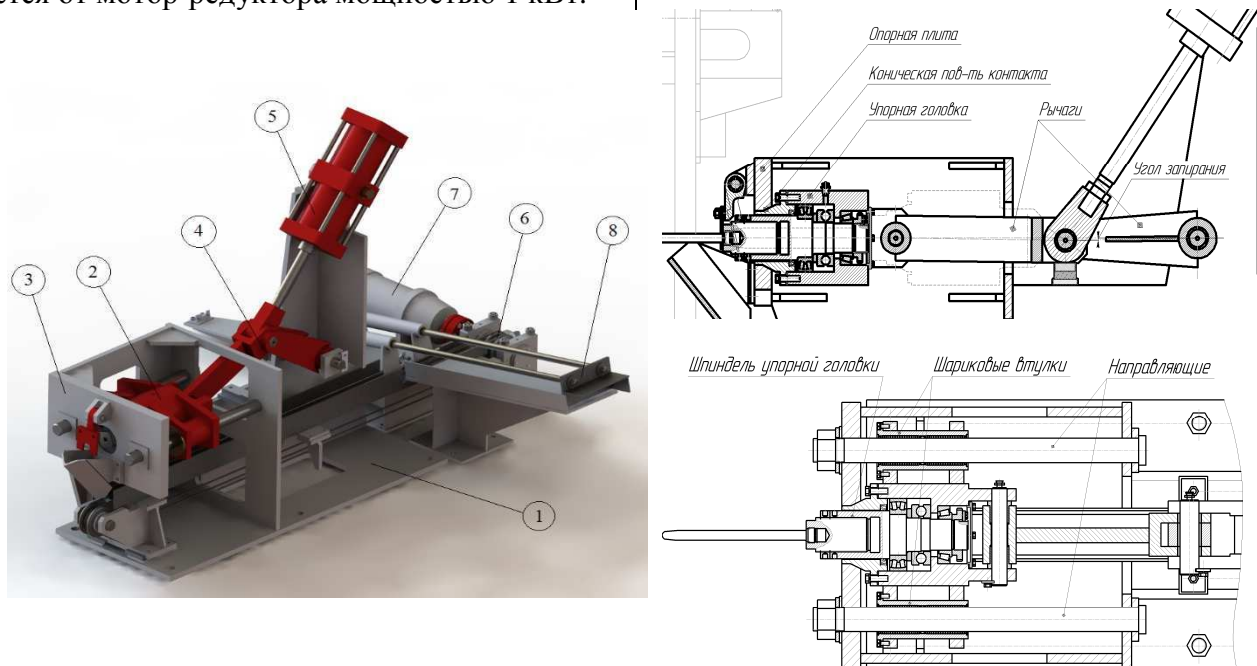


Рисунок 5. Конструкция выходной стороны прошивного стана

Упорная головка 2 установлена на двух направляющих, смонтированных на общей раме 1. Рычажный механизм 4 предназначен для установки, фиксации и быстрого отвода из очага деформации оправки со стержнем с целью получения гильзы с дном. Складывание рычагов осуществляется при помощи пневмоцилиндра 5 по сигналу фотодатчика, фиксирующего наличие горячего металла на выходе из рабочих валков.

Для восприятия усилий прокатки при прошивке стержень с оправкой закреплен в упорной головке 2, которая благодаря шпинделю, смонтированному в подшипниковой опоре, обеспечивает возможность свободного вращения стержня. Упорная головка 2 при установке стержня с оправкой в очаге деформации упирается в плиту 3, обеспечивающую точное позиционирование упорной головки 2 и фиксацию ее по конической поверхности с помощью рычагов 4.

Для восприятия осевого усилия и предотвращения произвольного складывания рычагов необходимо, чтобы рычаги 4 в рабочем положении были опущены несколько ниже линии, соединяющей оси шарниров.

После прошивки гильза попадает на

цепной транспортер, который приводится в движение вращающимися звездочками от мотор-редуктора 7, который установлен на отдельной раме 6 и имеет возможность перемещения вдоль цепи для ее натяжения.

Передача гильзы от выходной стороны в приемный желоб калибровочного пресса осуществляется толкателем 8 от пневмоцилиндра.

Калибровочный пресс

Механический пресс предназначен для калибрования дна прошитой гильзы и ее наружной поверхности.

Техническая характеристика калибровочного пресса представлена в таблице 2.

Калибровочный пресс (рис. 6) включает в себя раму 1, на которой смонтированы две опорные стойки 2, соединенные тремя колоннами 3, на которых расположены втулки 4; предварительная затяжка колонн обеспечивается гайками 5.

Пресс также имеет привод пуансона 6, выталкиватель заготовок из матрицы 7, устройство для съема заготовок с пуансона после калибрования 8 и приспособления для охлаждения матрицы и контейнера с протяжным кольцом и устройства смазки и охлаждения пуансона.

Таблица 2

Техническая характеристика калибровочного пресса

Размеры стакана, мм:	
диаметр	33, 43, 60
длина	120...220
толщина дна	5; 8,5; 22
Температура калибрования, °С	до 1150
Усилие калибрования, кН	до 500
Длина рабочего хода, мм	250
Длина максимального хода винта, мм	600
Скорость перемещения винта, мм/с	80
Цикл калибрования, с	14
Производительность, шт./ч	180
Мощность главного привода, кВт	45
Охлаждающая жидкость технологического инструмента	вода
Давление воды в системе, МПа	до 0,2
Расход воды, л/ч	до 100
Давление воздуха в системе, МПа	до 0,63

На общей плите 9 смонтированы контейнер с матрицей 10 и контейнер с волоочильным кольцом 11, которые устанавливаются на ось прессы путем поворота плиты. Поворот осуществляется пневмоцилиндром 12, который через рычаг 13 вращает вал с плитой.

Съем заготовок с пуансона осуществляется при помощи съемника 14, который опускается в прорезь контейнера после операции калибрования наружной поверхности стакана. Приводом съемника служит пневмоцилиндр 15. Выгрузка заготовок из прессы осуществляется за счет гравитационных сил через прорезь в нижней части контейнера и через отводящий желоб 16.

Выталкиватель заготовок из матрицы включает пневмоцилиндр 17, к штоку которого присоединен стержень 18, устанавливаемый в дно матрицы. Цилиндр 17 смонтирован на кронштейне 19.

Перемещение пуансона при рабочем и обратном ходе осуществляется от электромеханического привода 6 через пару винт-гайка. Гайка 20, смонтированная в

подшипниковых опорах, вращается с помощью клиноременной передачи и сообщает поступательное движение винту 21, на конце которого закреплен пуансон 22. Остановка винта 21 с пуансоном в крайнем переднем и заднем положении осуществляется по сигналу от бесконтактных датчиков. Для предотвращения проворачивания винта 21 во время движения его хвостовик установлен в стойке 26 с плоскими направляющими.

Укладка заготовок разного диаметра на ось прессы осуществляется путем вертикального перемещения приемного желоба 23 от пневмоцилиндра 24, смонтированного на опоре 25.

Камера контролируемого охлаждения

Для контролируемого охлаждения полых заготовок до заданной температуры и складирования в тару после горячей обработки давлением на АЛВП разработана камера контролируемого охлаждения, техническая характеристика которой представлена в таблице 3.

Таблица 3

Краткая техническая характеристика камеры контролируемого охлаждения заготовок

Размеры полых заготовок, мм:	
диаметр	32; 42
длина	90...120; 100...140
масса, кг	0,4...0,8
Температура подачи заготовок на входе в камеру охлаждения, °С	800...850
Температура полых заготовок на выходе из камеры охлаждения, °С	200...250
Цикл подачи заготовок в камеру, с	20...30
Скорость вращения шнекового транспортера, об/мин	5...50
Способ охлаждения	водо-воздушной смесью
Давление воды в системе, МПа	0,2
Расход воды, л/ч	до 100
Напряжение электрического тока, В	380
Тип главного привода камеры охлаждения	электромеханический
Мощность главного привода, кВт	2,2
Мощность привода перемещения каретки, кВт	1,1
Режим работы	автоматический и ручной в процессе наладки

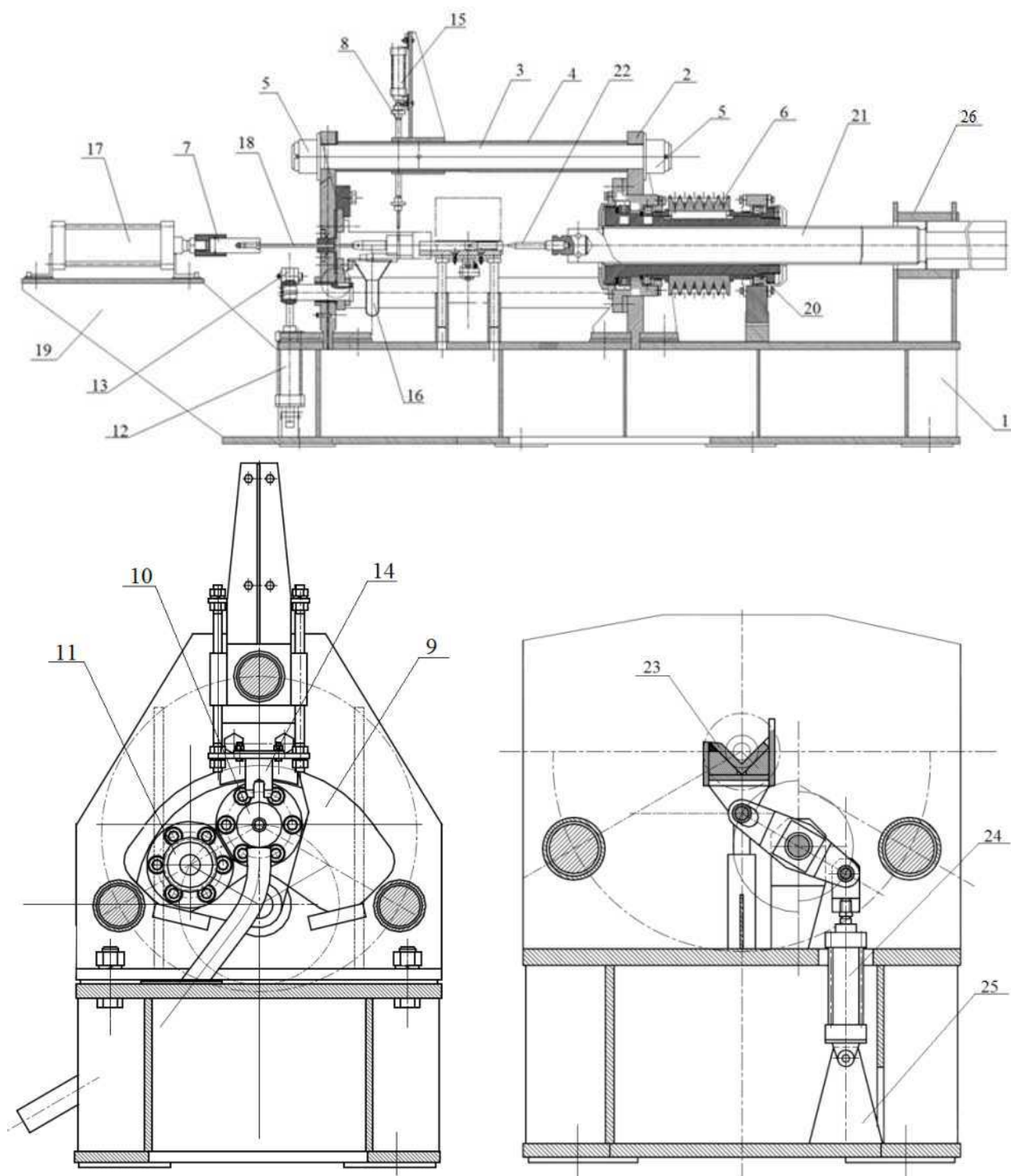


Рисунок 6. Калибровочный пресс

Камера контролируемого охлаждения заготовок (рисунок 7) включает в себя: раму шнекового транспортера 1, корпус каретки 2, кожух 3, короб 4, устройство водовоздушного охлаждения 5, шнеки 6 и 7, главный привод шнекового транспортера 8, привод перемещения каретки 9, распределитель 10.

Рама шнекового транспортера 1 предназначена для установки и позиционирования всех основных узлов оборудования.

Корпус каретки 2 установлен на реечных направляющих рамы шнекового транспортера и предназначен для установки тележки с коробами.

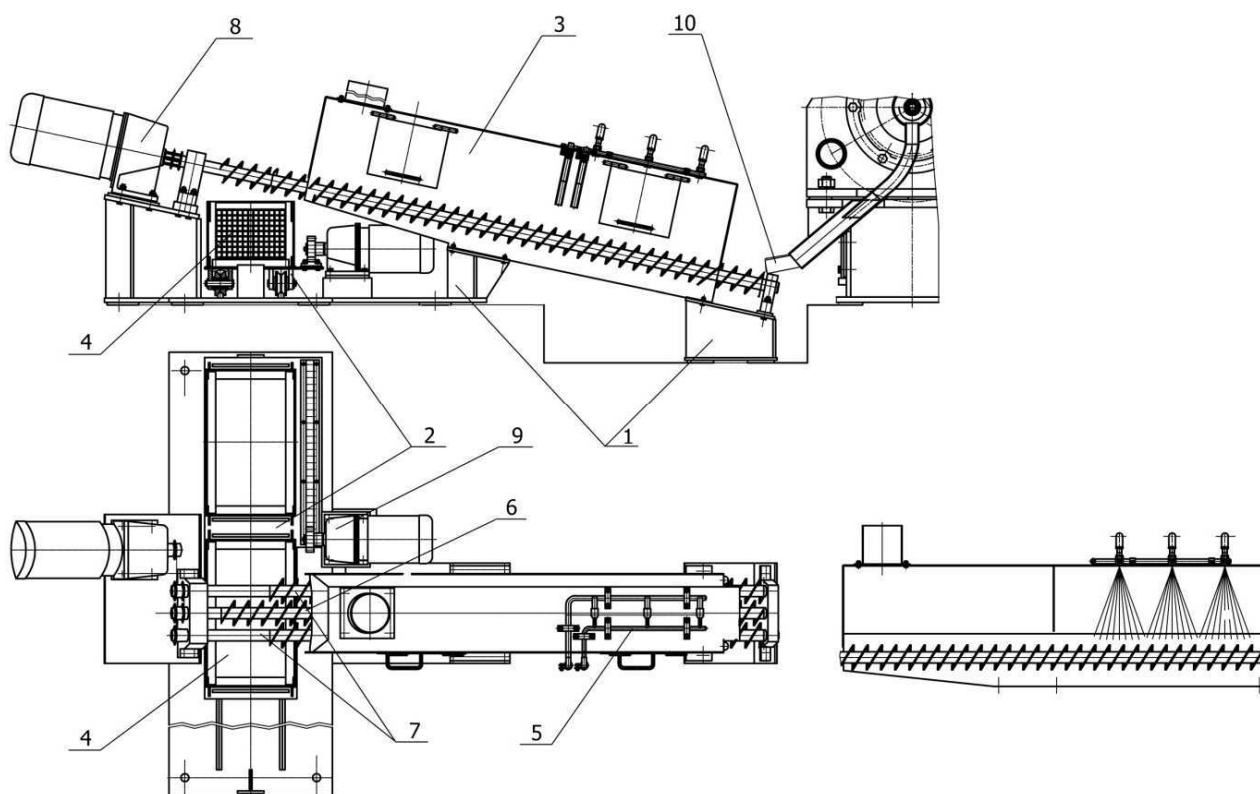


Рисунок 7. Камера контролируемого охлаждения заготовок

Кожух 3 закреплен болтами к раме шнекового транспортера и предназначен для защиты и отвода выделяющегося тепла от охлаждающихся заготовок через отводное отверстие в верхней части кожуха. В боковой стенке кожуха предусмотрены два люка с крышками, предназначенные для удобства эксплуатации и наблюдения.

Короб 4 представляет собой сварную коробчатую конструкцию с сетчатыми стенками и предназначен для накопления охлажденных заготовок после прохождения их через камеру охлаждения. В составе оборудования камеры охлаждения заготовок предусмотрено два короба, которые установлены на корпусе каретки.

Устройство водовоздушного охлаждения 5 установлено на верхней крышке кожуха 3 и предназначено для распыления охлаждающей водовоздушной смеси внутри камеры охлаждения заготовок. По двум отдельным трубам к трем форсункам, выходные отверстия которых установлены внутри камеры охлаждения, подводится вода и воздух, давление которых регулируется кранами, установленными отдельно на подачу воды и воздуха.

Шнеки 6 и 7 предназначены для перемещения заготовок по камере охлаждения и

состоят из трубы, на которую навита спиралевидная стальная полоса. Шнеки установлены в опорах на радиально-упорных подшипниках качения. Вращение шнеков осуществляется от главного привода шнекового транспортера. С выходной стороны камеры охлаждения крайние шнеки 7 имеют меньшую длину спиральной образующей, благодаря чему охлажденные заготовки падают со шнекового транспортера в короб 4, установленный под ним.

Заключение

Разработана схема технологического процесса получения полых заготовок диаметром 30...60 мм, в основе которой лежит операция прошивки в трехвалковом стане винтовой прокатки. Для реализации данной схемы спроектировано оборудование, обладающее высоким уровнем автоматизации и производительностью до 180 шт./час полых заготовок.

В составе АЛВП установлен калибровочный пресс, выполняющий операции калибрования донной части и наружной поверхности полых заготовки. Совмещение операций калибрования на одном прессе позволяет снизить массу оборудования и

сократить время передачи заготовки между операциями.

Камера охлаждения, установленная после калибровочного пресса, обеспечивает получение требуемых механических свойств полых заготовок благодаря регулируемой скорости их передачи внутри камеры и подаче охлаждающей жидкости.

Предложенная технология и оборудование могут быть реализованы на машиностроительных и металлургических предприятиях, занимающихся выпуском деталей подобного сортамента.

Библиографический список

1. Васильчиков М.В., Барбарич М.В., Жукевич-Стоша Е.А. и др. Производство точных заготовок машиностроительных деталей прокаткой. М.: НИИИН-ФОРМТЯЖМАШ, 1968. 338 с.
2. Игнатенко В.Н., Головина З.С., Гневашев Д.А. Разработка технологического процесса штамповки детали «Поршень тормозного цилиндра» // КШП. ОМД. 2013. № 5. С. 18–21.
3. Романцев Б.А., Потапов И.Н., Гончарук А.В., Попов В.А. Изготовление полых профилированных заготовок. М.: НПО «Информ ТЭИ», 1992. 263 с.
4. Зубарев Ю.М. Специальные методы обработки заготовок в машиностроении: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Изд-во Лань, 2015. – 400 с.
5. Грановский, С.П. Новые процессы и станы для прокатки изделий в винтовых калибрах. – М.: Металлургия, 1980. – 116 с.
6. Пат. 2378062 Российская Федерация, МПК В21В19/04, В21В25/00. Способ производства гильз на стане поперечно-винтовой прокатки / Н.В. Пасечник, В.И. Котенок, Г.С. Майзелис, А.В. Аникин, М.Е. Обухов, М.Г. Морданов; заявитель и патентообладатель ОАО АХК «ВНИИМЕТМАШ». № 2008115541/02; заявл. 23.04.2008; опубл. 2010.
7. Пат. 2600594 Российская Федерация, МПК В21К21/06. Способ изготовления заготовок в форме стакана из прутка / Свободов А.Н., Чижевский О.Т., Липченко Ю.Н., Гамин Ю.В. и др.; заявл. 03.02.2015; опубл. 03.10.2016.
8. Романцев Б.А., Гамин Ю.В., Алещенко А.С., Кошмин А.Н., Труфанов С.А. Разработка эффективного способа и оборудования для получения полых заготовок винтовой прокаткой // Сталь. 2017. №6. С. 45-51.
9. Пат. 2595182 Российская Федерация, МПК В21В19/04. Устройство для изготовления цилиндрических заготовок формы стакан / Чижевский О.Т., Свободов А.Н., Заглада В.И., Гамин Ю.В. и др.; заявл. 03.02.2015; опубл. 20.08.2016.
10. Пат. 2596519 Российская Федерация, МПК В21В19/06. Способ винтовой прокатки полых заготовок с дном / Романцев Б.А., Гончарук А.В., Гамин Ю.В. и др.; заявл. 17.04.2015; опубл. 10.09.2016.

Information about the paper in English

**B.A. Romantsev, Yu.V. Gamin,
A.V. Goncharuk, A.S. Aleshchenko**
National University of Science and Technology «MISIS» (MISIS)
Moscow, Russian Federation
E-mail: gamin910@gmail.com
Received 02.10.2017

AUTOMATIC SCREW ROLLING LINE FOR SMALL-DIAMETER HOLLOW BILLETS

Abstract

This article describes a new production process and equipment for the production of hollow billets within the diameter range of 30 to 60 mm. The authors look at the design of a three-roll piercer, an electrically powered sizing press and a screw-type controlled cooling chamber. An automatic screw rolling line is capable of producing precision hollow billets at the rate of 180 pieces an hour.

Keywords: three-roll piercer; screw rolling; sizing press; automatic line.



УДК 621.77

Э.А. Гарбер, Д.З. Гатиятуллин
ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»
г. Череповец, Россия
E-mail: mamz2011@mail.ru
Дата поступления 30.10.2017

ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ СТАЛЬНЫХ ШИРОКИХ ПОЛОС ДЕФЕКТА «ОСТАТОЧНАЯ ОКАЛИНА» И МЕТОДЫ ЕГО УСТРАНЕНИЯ

Аннотация

В статье изложены методика и результаты анализа факторов технологии и оборудования горячей прокатки широких полос, выполненного с целью выявления, какие из этих факторов оказывают существенное влияние на появление дефекта поверхности полос «остаточная окалина», обнаруживаемого только у заказчиков после дробеструйной обработки перед окончательной покраской поверхности.

Ключевые слова: горячекатаный листовой прокат; остаточная окалина; гидросбив окалины.

Введение

При использовании горячекатаных стальных широких полос для машиностроительных конструкций иногда обнаруживается дефект «остаточная окалина», который выявляется только после дробеструйной обработки готового изделия перед окончательной покраской. Metallурги, в частности прокатчики ПАО «Северсталь», производят горячекатаный лист по стандарту EN 10025-2-04, в котором этот дефект не описан.

В данной работе выполнен анализ факторов технологии листопрокатного цеха, которые могут быть причиной образования остаточной окалины; предложены мероприятия для устранения этих причин.

Основная часть

Чаще всего остаточная окалина обнаруживается на поверхности горячекатаных листов толщиной 10-25 мм, шириной 1000-1250 мм, изготовленных из низколегированной кремнемарганцовистой стали марки S355J2. Эти листы используют для изготовления сварных металлоконструкций. Например, компания «КАТЕРПИЛЛАР» изготавливает из них лицевые детали экскаваторов, для чего подвергает их дробес-

труйной очистке, грунтовке и лакокрасочному покрытию. Если после очистки на поверхности листа выявляется остаточная окалина, краска ложится на поверхность неравномерно, что в итоге ухудшает товарный вид изделия.

Поскольку технологией листопрокатного производства ранее не были предусмотрены контроль, выявление и устранение данного дефекта, мы выполнили литературный обзор, чтобы выяснить, как специалисты и исследователи листопрокатных цехов разных металлургических предприятий решают этот вопрос. В результате установили, что в монографиях, справочниках и учебниках по теории и технологии прокатки, опубликованных, начиная с 90-х годов 20 века [1 - 3], проблема выявления и устранения на поверхности горячекатаных листов остаточной окалины не рассматривалась.

В связи с этим мы начали исследование с того, что проанализировали, какие факторы могут повлиять на образование остаточной окалины на поверхности листов.

На первом этапе для решения этой задачи был использован один из методов системного анализа: «дерево факторов» (рисунки 1).

Применив этот метод, собрали с использованием АСУТП статистические данные за один календарный год по каждому дефектному листу, включающие номера плавков и партий.

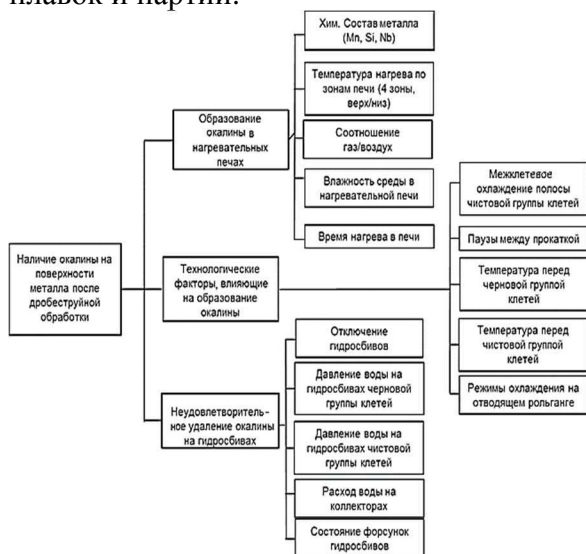


Рисунок 1. Дерево факторов, которые могут повлиять на образование дефекта «остаточная окалина» в процессе производства горячекатаных листов

С помощью программного комплекса MINITAB¹ построили регрессионную модель, по которой определили, что факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на появление остаточной окалины это - температура нагрева слябов, время нагрева и эффективность системы гидросбива.

Дальнейший анализ показал, что полученные результаты недостаточны для их практического применения, т.к. не все факторы, указанные на рисунке 1, фиксируются в цеховой АСУ ТП, поскольку до 2015 года не было обращений от заказчиков, связанных с появлением на поверхности листов остаточной окалины.

Учитывая это, было решено использовать в дальнейшей работе другой метод анализа – экспертную оценку с помощью, так называемого *приоритетного числа риска* (ПЧР).

Этот метод описан в российском стандарте ГОСТ 51184.2-2001. Он предусматривает расчет ПЧР для каждого из факторов,

которые, по мнению экспертов, могут повлиять на появление остаточной окалины, по следующей формуле:

$$\text{ПЧР} = S \cdot D \cdot O,$$

где S – оценка значимости фактора;

D – вероятность того, что в технологическом процессе будут обнаружены отклонения по вине рассматриваемого фактора, которые вызовут появление остаточной окалины;

O – частота, с которой ожидается появление этих отклонений.

Чтобы получить значения показателей S, D, O экспертной оценкой, необходимо сформировать экспертный совет, включив в него компетентных специалистов.

В листопрокатном цехе № 2 (ЛПЦ-2) ПАО «Северсталь» в экспертный совет вошли: старший менеджер по технологии, старшие операторы черновой и чистой групп клеток стана 2000 и менеджер службы развития цеха. Ими было принято решение рассчитать ПЧР отдельно для факторов технологии и оборудования. Результаты этого расчета приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из таблицы 1, наиболее значимыми из девяти факторов технологии оказались три: время нагрева слябов в печи (значимость 37%), температура нагрева по зонам печи (значимость 21,1%) и влажность среды в нагревательной печи (значимость 17,6%).

Как видно из таблицы 2, наиболее значимыми из пяти факторов оборудования также оказались три: засорение форсунок гидросбива (значимость 37,3%), отключения гидросбива (значимость 24%) и снижения давления воды на гидросбивах чистой группы (значимость 21,3%).

Сопоставив результаты предварительного анализа и расчета ПЧР, установили, что они не противоречат друг другу, но расчет ПЧР дал более конкретные результаты, которые можно использовать для выработки рекомендаций, сводящих к минимуму появление на листах остаточной окалины.

¹ Bass Issa. Six Sigma Statistics with EXCEL and MINITAB. ISBN-13: 978-0071489690

Таблица 1

Факторы технологии, которые по расчету ПЧР могут влиять на образование остаточной окалины на поверхности листов из стали S355J2

№	Параметр	S (значимость)	O (возникновение)	D (обнаружение)	ПЧР	Значимость, %
1	Химический состав металла	2	2	8	32	3,5
2	Температура нагрева по зонам	8	6	4	192	21,1
3	Соотношение газ/воздух	8	3	5	120	13,2
4	Влажность среды в нагревательных печах	8	4	5	160	17,6
5	Время нагрева в печи	7	6	8	336	37
6	Межклетевое охлаждение полосы в чистовой группе клеток	2	1	10	20	2,2
7	Паузы между прокаткой	1	1	7	7	0,8
8	Температура перед чистовой группой клеток	1	2	6	12	1,3
9	Режимы охлаждения на отводящем рольганге	1	3	10	30	3,3
Итого					909	100

Таблица 2

Факторы оборудования, которые по расчету ПЧР могут влиять на образование остаточной окалины на поверхности листов из стали S355J2

№	Параметр	S (значимость)	O (возникновение)	D (обнаружение)	ПЧР	Значимость, %
1	Отключение гидросбыва	4	6	3	216	24
2	Снижение давления воды на гидросбывах черновой группы	8	3	5	120	13,3
3	Снижение давления воды на гидросбывах чистовой группы	8	6	4	192	21,3
4	Расход воды на коллекторах	2	2	8	36	4,01
5	Засорение форсунок гидросбыва	7	6	8	336	37,3
Итого					900	100

При этом было учтено, что изменить режимы работы нагревательных печей практически невозможно, т.к. главная их задача – придать слябам необходимую для прокатки пластичность. Поэтому мы выполнили углубленный анализ данных производства, цель которого была выяснить, будет ли появляться остаточная окалина, если, не меняя режимы нагревательных печей, устранить главные недостатки оборудования – некачественную работу систем гидросбыва окалины, особенно в чистовой группе клеток.

В результате было установлено, что при исключении засорений форсунок гидросбыва, колебаний давления в системе гидросбыва и его отключений во время прокатки остаточная окалина на листах не проявляется.

Заключение

Анализ факторов технологии и оборудования горячей прокатки широких полос, выполненный по специально разработанной методике, показал, что наиболее значимые факторы, влияющие на появление дефекта поверхности листов «остаточная окалина» - недостатки работы оборудования системы гидросбыва окалины. Жесткий контроль засорения форсунок и колебаний давления в системе, в том числе его отключения, гарантирует исключение данного дефекта.

Библиографический список

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. М.: Теплотехник, 2008. 640 с.

2. Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения). Днепропетровск: РВА «ДніпроVAL», 2010. 500 с.
3. Коцарь С.Л., Белянский А.Д., Мухин Ю.А. Технология листопрокатного производства. М.: Металлургия, 1997. 272 с.
4. Качество листов / Дурнев В.Д., Иводитов В.А., Казаков А.А. и др. М.: Наука и технологии, 2008. 336 с.
5. Современные методы повышения эффективности листопрокатного производства / Иводитов В.А., Трайно А.И., Вольшонов И.З., Русаков А.Д. М.: Издательский Дом МИСиС, 2013. 288 с.
6. Беняковский М.А., Масленников В.А. Автомобильная сталь и тонкий лист. Череповец: Издательский дом «Череповец», 2007. 636 с.
7. Технология листопрокатного производства: справочник в 2-х книгах. Книга 2 / Беняковский М.А., Богоявленский К.Н., Виткин А.И. и др. М.: Металлургия, 1991. 423 с.
8. Николаев В.А. Теория и практика процессов прокатки. Запорожье: Запорожская государственная инженерная академия, 2002. 232 с.
9. Дурнев В.Д., Настич В.П., Дурнев Н.В. Механика и физика листовой прокатки. М.: Наука и технологии, 2002. 224 с.

Information about the paper in English

E.A. Garber, D.Z. Gatiyatullin
Cherepovets State University
Cherepovets, Russian Federation
E-mail: mamz2011@mail.ru
Received 30.10.2017

FACTORS THAT CAUSE RESIDUAL SCALE SURFACE DEFECTS IN HOT-ROLLED WIDE STRIPS AND METHODS OF THEIR ELIMINATION

Abstract

This article describes the methods and the results of an analysis of factors inherent in hot rolling of wide strips and the relevant equipment. The purpose of such analysis was to identify which of those factors can cause the residual scale defect, which is only detectable by customers after bead blasting and before final coating.

Keywords: hot-rolled flat products; residual scale; water descaling.



УДК 621.77

И.В. Горлов, Е.В. Полетаева
ФГБОУ ВО «Тверской государственный
технический университет»
г. Тверь, Россия
E-mail: gorloviv@yandex.ru

М.Г. Рахутин
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»
г. Москва, Россия
Дата поступления 03.11.2017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРУППОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ ТОРФЯНЫХ МАШИН

Аннотация

Предлагается внедрение групповых технологических процессов в многономенклатурном производстве, что позволит в условиях сокращения объёма производства и расширения его номенклатуры эффективно изготавливать машиностроительную продукцию с использованием высокотехнологичного оборудования.

Ключевые слова: технологические процессы, групповые технологии, многономенклатурное производство, торфяные машины

Введение

Вследствие глобального сокращения добычи торфа в России в двухтысячных годах практически прекратилась закупка новой торфяной техники, что привело к остановке производства торфяных машин в нашей стране. Практически все заводы, специализирующиеся на изготовлении торфяного оборудования, были вынуждены прекратить их производство и перепрофилироваться на выпуск других технологических машин. Как следствие, торфяное оборудование, выпускаемое бывшими профильными заводами, стало производиться в ограниченном количестве на основе разовых договоров, что привело к росту стоимости и снижению её качества. Это привело к тому, что большинство торфодобывающих предприятий переориентировалось на закупку зарубежного оборудования, вследствие чего производство торфяных машин в нашей стране упало практически до нуля.

Из-за прекращения серийного производства торфяных машин возникла ещё одна проблема – отсутствие качественных запасных частей для ремонта. В таких усло-

виях организации, осуществляющие текущий и капитальный ремонт торфяной техники, были вынуждены производить необходимые комплектующие самостоятельно на базе имеющегося универсального оборудования в условиях единичного производства, что в большинстве случаев не обеспечивает требуемого качества.

В то же время, ряд предприятий, ориентированных на производство строительных, дорожных, сельскохозяйственных и других машин, в нынешних условиях из-за сокращения заказов от своих потребителей, вынуждены осуществлять поиск дополнительных объёмов производства в непрофильных сферах. При организации производства таких заказов заводы часто используют традиционные единичные технологические процессы, так как применяемые у них в настоящее время серийные технологии не обладают необходимой гибкостью. Следовательно, такие производства не позволяют эффективно изготавливать мелкосерийные, тем более, единичные изделия.

Групповые технологии

Изменить ситуацию в сфере производства торфяных машин можно за счёт

внедрения гибких многономенклатурных технологий, основанных на применении групповых технологических процессов и станков с ЧПУ (числовым программным управлением) [1, 2].

Основной целью при разработке групповых технологий является повышение эффективности производства продукции широкой номенклатуры. В групповых технологических процессах изделия объединяются в группы, основанные на общности используемого оборудования и технологической оснастки при выполнении одинаковых операций. Это повышает однородность производства при изготовлении различных изделий и обеспечивает повышение его производительности.

На первом этапе проектирования группового технологического процесса детали, объединённые в одну группу, раскладываются на конструкторско-технологические элементы (КТЭ), из которых в последующем создаётся комплексная деталь, элементы которой удовлетворяют требованиям всех деталей группы.

Рассмотрим процесс разработки группового технологического процесса для деталей типа «вал».

Первая деталь, входящая в рассматриваемую группу – вал-шестерня. Деталь изготавливается из легированной стали 40Х, подвергается термической обработке ТВЧ.

Максимальный диаметральный размер составляет 70 мм, линейный – 300 мм. Наиболее точные поверхности обрабатываются по 6-му качеству (рисунок 1).

Структурно вал-шестерню можно представить, как множество элементов: цилиндры, фаски, галтели, шпоночные пазы и др. Для идентификации каждому элементу присвоена цифра, соответствующая номеру детали (1 может не ставиться), буква – обозначение КТЭ в данной детали и цифра после буквы – порядковый номер элемента данного типа (рисунок 2).

При формировании структурной модели детали необходимо учитывать положение детали при установке на станок и последовательность обработки поверхностей, а также их точность и способ обработки. На верхнем уровне модель детали делится на две группы в зависимости от положения в процессе обработки, на следующем уровне – на группы в зависимости от основной формообразующей поверхности и далее – на элементы (рисунок 3).

Аналогично структурируются остальные детали группы таким образом, чтобы с помощью соответствующих символов можно было описать их КТЭ (таблица 1). Знак «+» на пересечениях строк и столбцов показывает, что данный элемент присутствует в соответствующей детали.

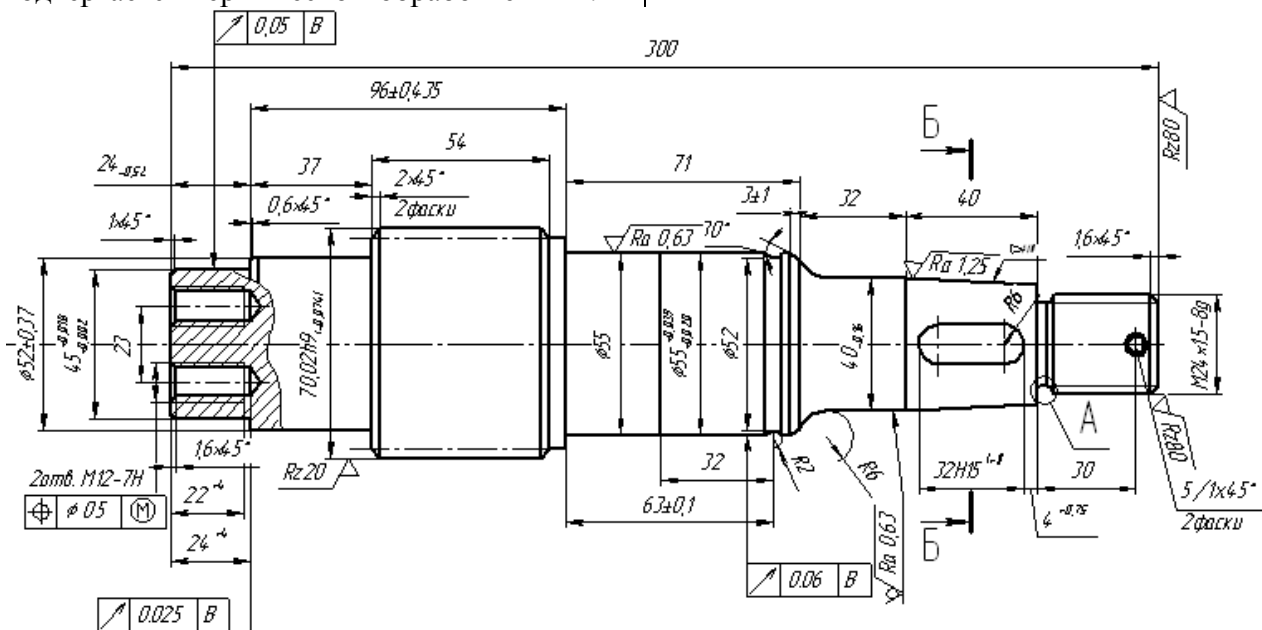


Рисунок 1. Эскиз детали «вал-шестерня»

Структура КТЭ деталей группы

Детали	Конструкторско-технологические элементы																
	А – торец	Б – фаска	В – отверстие продольное	Г – резьба в отверстии	Д – канавка с фасками	Е – зубчатый контур	Ж – шестигранник	З – канавка радиусная	И – конус	К – шпоночный паз	Л – наружная резьба	М – отверстие поперечное	Н – центровое отверстие	О – лыска	П – цилиндр	Р – фаска в отверстии	С – проточка
Шестерня-вал	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+			+	+	+
Вал 2	+	+						+	+	+	+	+			+	+	+
Вал 3	+	+	+	+				+	+	+	+	+			+	+	+
Вал 4	+	+						+		+	+		+	+	+		+
Вал 5	+	+			+		+	+			+		+		+		+
Вал 6	+	+									+		+	+	+		+
Вал 7	+	+								+	+		+		+		+

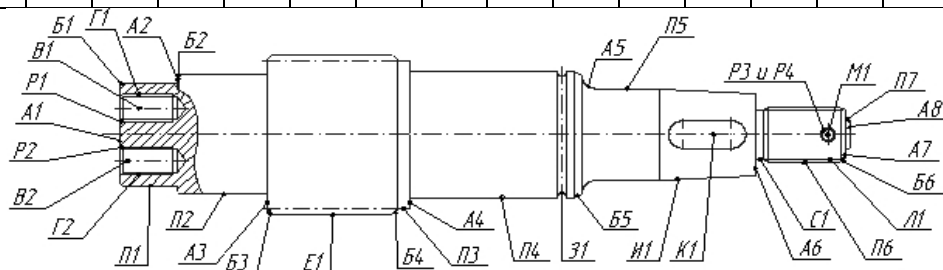


Рисунок 2. КТЭ детали «вал-шестерня»

Деталь 1 шестерня-вал

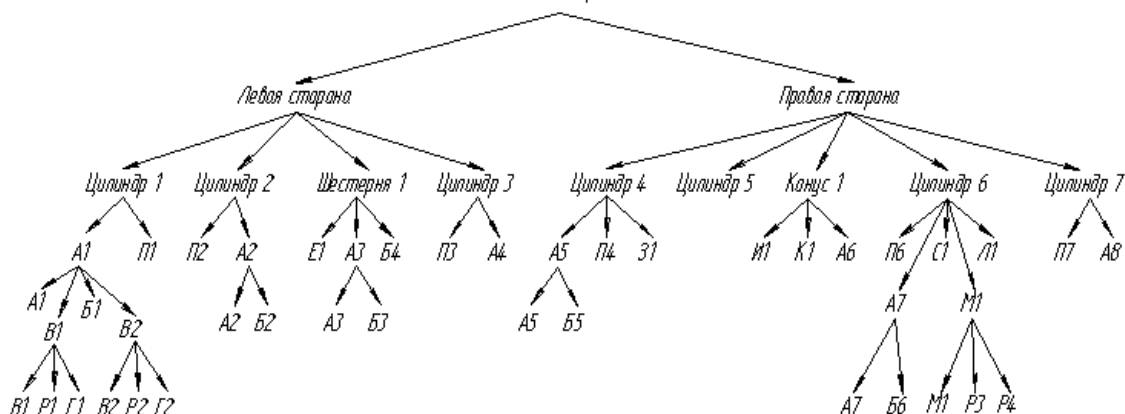


Рисунок 3. Структура КТЭ детали «вал-шестерня»

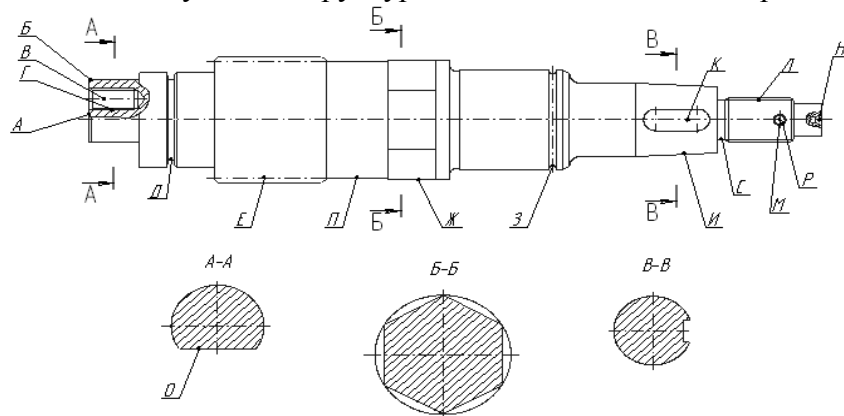


Рисунок 4. Комплексная деталь

Для оптимизации структуры элементов деталей группы и сокращения их номенклатуры необходимо выявить однотипные по конструкции КТЭ и унифицировать их для уменьшения используемых инструментов и соответствующих им способов обработки. Предпочтение отдается элементам, которые можно получить стандартными инструментами, например, канавки для выхода инструмента. Их предпочтительнее получать контурными проходными резцами, что сокращает количество инструментов в наладке и переходов на операции.

Далее разрабатывается комплексная деталь, содержащая в себе все КТЭ группы. Поскольку вал-шестерня в представленной группе деталей содержит наибольшее число КТЭ, то она будет деталью-лидером. К детали-лидеру добавляются недостающие элементы (лыска, шестигранник, канавка с фасками и др.), и получается комплексная деталь (рисунок 4). На основе анализа структуры и свойств элементов комплексной детали формируется технологический маршрут, который позволяет изготавливать все КТЭ рассматриваемой группы деталей.

При формировании группового технологического процесса, для каждой операции выбирается станок, который обеспечит изготовление необходимых элементов деталей группы. При этом инструментальная наладка должна содержать инструменты необходимые для обработки КТЭ, закреплённых за данной операцией.

Технологический маршрут для рассматриваемой детали формируется из соответствующих операций разработанного на основе анализа комплексной детали группового ТП. Оборудование, задействованное в технологическом процессе, имеет наладки со всем необходимым инструментом, поэтому при изготовлении конкретной детали потребуются только загрузить в систему ЧПУ нужную управляющую программу.

Исходя из набора КТЭ группы деталей разработан групповой технологический маршрут. При разработке группового ТП необходимо принимать во внимание особенности технологического оборудования,

используемого на конкретном предприятии. Для минимизации затрат времени на проектирование групповых ТП необходимо использовать САПР ТП [3, 4]. Маршруты изготовления деталей рассматриваемой группы показаны в таблице 2.

Таблица 2

Маршруты групповых операций

№ операции	Наименование операции	Шестерня-вал	Вал 2	Вал 3	Вал 4	Вал 5	Вал 6	Вал 7
005	Фрезерно-центровальная с ЧПУ	+	+	+	+	+		+
010	Токарная черновая с ЧПУ	+	+	+	+	+	+	+
015	Токарная чистовая с ЧПУ	+	+	+	+	+	+	+
025	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	+	+	+	+	+	+	+
030	Шлифовальная с ЧПУ	+	+	+	+	+	+	+
050	Зубофрезерная с ЧПУ	+						
060	Термическая ТВЧ в среде защитных газов	+	+	+	+	+		

С помощью систем автоматизированного моделирования получают твердотельные модели деталей, и на основе анализа информации о детали с помощью систем автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ разрабатывают управляющие программы, соответствующие полученному технологическому маршруту. При разработке операций технологического процесса необходимо максимально использовать групповую оснастку, что позволит сократить подготовительно-заключительное время при переходе к выпуску новой детали.

При добавлении в рассматриваемую группу новой детали требуется провести

анализ её структуры и соответствия конструкторско-технологическим элементам данной группы. Если КТЭ новой детали присутствуют в группе, то данную деталь можно производить в рамках существующего группового технологического процесса без существенных изменений, следовательно, для запуска данной детали в производство не понадобится значимых затрат.

При организации многономенклатурного производства на базе машиностроительных предприятий необходимо проводить анализ периодичности партий запуска для оптимизации загрузки оборудования. Данную задачу необходимо решать с помощью моделирования технологических процессов.

Заключение

Большое количество деталей имеют сходную структуру КТЭ, поэтому нет большой разницы при производстве дорожных, строительных или торфяных машин. При организации многономенклатурного производства и добавлении дополнительных деталей в существующую группу, имеющих такой же набор конструкторско-технологических элементов, затраты на разработку технологического процесса и переналадку оборудования минимальны. Таким образом, групповое проектирование и реализация групповых технологических процессов позволяют производить детали низкой серийности на высокотехнологичном оборудовании с необходимой эффективностью.

Следовательно, применение групповых технологических процессов в многономенклатурном производстве позволит предприятиям, выпускающим дорожно-строительную или сельскохозяйственную технику, изготавливать, в том числе, и торфяные машины малыми партиями, но с требуемым качеством и по доступным ценам.

Библиографический список

1. Горлов И.В. Групповая технология как основа автоматизации широкономенклатурного производства / И.В. Горлов, Е.В. Полетаева, Н.А. Калинин. // Вестник Тверского государственного технического университета. 2016. №1 (29). С. 59-65.
2. Горлов И.В. Разработка группового технологического процесса для деталей типа «ВАЛ» / И.В. Горлов, Е.В. Полетаева, В.С. Осипов. // Вестник Тверского государственного технического университета. 2016. № 1 (29). С. 35-40.
3. Литовка Ю. В. Автоматизация технологической подготовки производства Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2003. 33 с.
4. Чижов М. И. Разработка подхода к автоматизации технологической подготовки производства в PLM системе Teamcenter / М. И. Чижов, А. В. Бредихин // Вестник Воронежского государственного технического университета. Воронеж, 2011. Т. 7, № 12-1. С. 24 – 26.

Information about the paper in English

I.V. Gorlov, E.V. Poletaeva
Tver State Technical University
Tver, Russian Federation
E-mail: gorloviv@yandex.ru

M.G. Rakhutin
National University of Science and Technology «MISIS» (MISIS)
Moscow, Russian Federation
Received 03.11.2017

THE USE OF GROUP TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURING AND MAINTENANCE OF PEAT MACHINES

Abstract

The authors propose to introduce group technologies in multiproduct manufacturing, which will make it possible to efficiently manufacture machines using high-technology equipment in a situation of decreasing output and expanding assortment.

Keywords: production processes, group technologies, multiproduct manufacturing, peat machines.



УДК 621.979.01

С.Г. Комаишко, Г.Н. Кулик

ООО «Дефорт»

г. Санкт-Петербург, Россия

E-mail: kulik.georgnik@rambler.ru

Дата поступления: 28.08.2017

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЦИЛИНДРА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ РАБОТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

Аннотация

Описано оригинальное использование гидроцилиндра при выполнении различных технологических процессов производства металлоизделий: гибки, правки, волочения,ковки.

Ключевые слова: гидроцилиндр, технологический процесс, гибка, правка, волочение,ковка.

Введение

Известно использование гидроцилиндров для выполнения различной полезной работы. Это и тормоза в автомобиле, и домкрат для его поднятия, например, при замене колеса, и пресса дляковки слитков массой до 400 тонн и т.п. Но все эти примеры показывают односторонность и узконаправленность использования упомянутого оборудования. Однако при производстве металлоизделий часто требуется, чтобы было в наличии такое оборудование, которое могло бы быть использовано в различных ситуациях. Рассмотрим, существует ли такая возможность.

Основная часть

Так, если к гидроцилиндру силой 3,2 МН присоединить через стяжное кольцо верхние и нижние рамные пластины и закреплённые со свободной стороны стяжными шпильками (назовем такое устройство – трубогибом, рисунок 1), то на нём можно выполнять различные технологические операции. Рамные пластины имеют отверстия, в одни из которых вставляются шпандыри, для удержания силовых элементов в определённом положении, а другие служат для наблюдения за происходящим процессом. Например, для получения колена гибкой трубы $\varnothing 146 \times 43$ мм из стали 30Х2Н2МФА-Ш, используемой в установках для производства полиэтилена высо-

кого давления, на шток гидроцилиндра одевается съёмный пуансон, а шпандырями закрепляют поворотные силовые элементы, расположенные симметрично от оси гидроцилиндра. Исходную трубу устанавливают на подвижных зажимах, которые дают ей возможность свободно перемещаться по полу цеха.

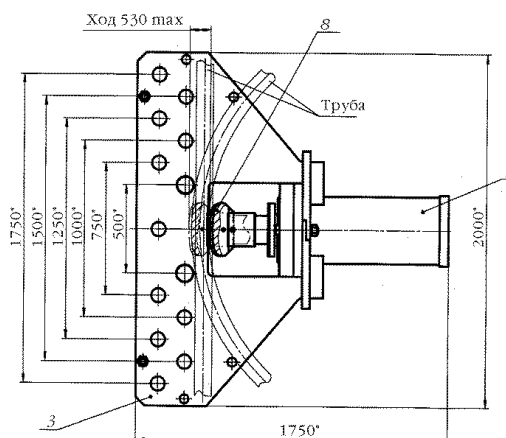
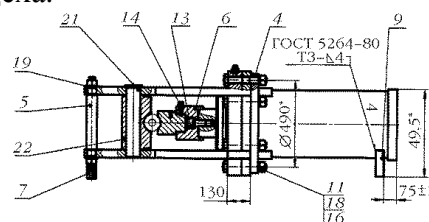


Рисунок 1. Трубогиб: 1 – гидроцилиндр; 2 – центральный силовой сегмент; 3 – верхняя плита; 4 – упор; 5 – боковой поворотный силовой сегмент; 6 – стяжная шпилька; 7 – гайка; 8 – шпандырь; 9 – стопор; 10 – проточка; 11 – втулка; 12 – стяжное кольцо; 13 – подставка; 14 – стяжные болты

На трубу также крепится лазерный нивелир, для предотвращения увода получаемого колена из его плоскости и закручивания в элемент спирали. Процесс изгиба происходит путём последовательного надавливания пуансоном на исходную трубу до достижения определённого размера, сравниваемого с имеющимся шаблоном, и при этом, следя, чтобы луч нивелира скользил параллельно поверхности пола (рисунок 2).

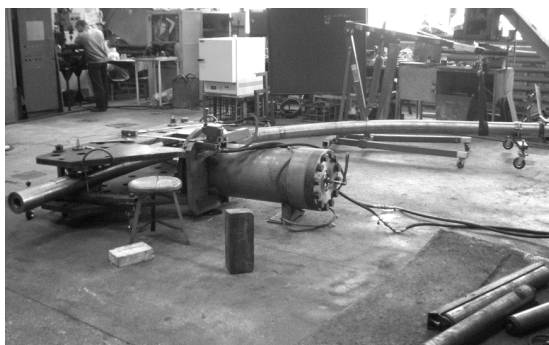


Рисунок 2. Изготовление колена гибкой трубы $\varnothing 146 \times 43$ мм из стали 30X2H2MФА-Ш

Аналогичен предыдущему процесс правки длинномерных валов (рисунок 3).



Рисунок 3. Правка трубогибом сплошной заготовки для изготовления трубы $\varnothing 146 \times 43 \times 10000$ мм глубоким сверлением

Для изготовления колен с радиусом сопоставимым с диаметром изгибаемой трубы был изготовлен штамп, а трубогиб, для удобства базирования, установили вертикально.

Кроме этого, производилась правка коробчатых и корытообразных изделий, для чего рамные пластины были заменены захватом.

Правка корытообразного изделия с фланцем на большом основании осуществляемая приспособлением, содержащим переносной гидравлический цилиндр с укрепленным на нём захватом, реализующим схему трёхточечной правки и металлической линейки, происходит так: металлическую линейку кладут на поверхность фланца, а захваты приспособления укрепляют на фланце перпендикулярно к его поверхности. Гидроцилиндром производят нажатие до того момента пока фланец не достигнет требуемого размера в данном сечении (что становится видно по металлической линейке, лежащей на фланце большого основания). Давление снимают. Приспособление убирают. Далее металлическую линейку кладут на поверхность фланца, на место, где был закреплён до этого один из захватов, укрепляют приспособление и повторяют предыдущие действия, обходя по периметру фланец корытообразного изделия, пока его форма не достигнет требуемых размеров. Из вышеописанного видно, что для получения правильной формы в плоскости фланца, приспособление в составе гидроцилиндра с захватом прикладывает силу перпендикулярно этой плоскости (рисунок 4).

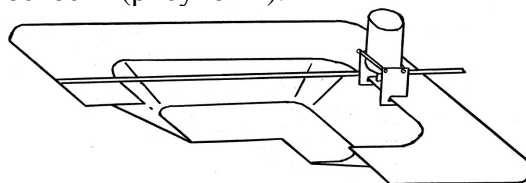


Рисунок 4 Правка корытообразного изделия

Таким же образом, т.е. переносным цилиндром, но с другой конструкцией захватов, возможно править длинномерные валы при механической обработке, в случае поводки, не снимая вала со станка. При этом необходимо помнить, что такая правка не всегда проходит бесследно для изготавливаемого изделия и иногда после такой операции требуется производить отпуск, который также можно выполнить в варианте местной термообработки в переносной печи, прямо на станке.

Но не только операции правки (гибки) можно выполнять на описываемом оборудовании, например, на нем реализован процесс волочения.

Для передачи тягового усилия от гидроцилиндра к деформируемой заготовке служит шарнирное сцепное устройство, связывающее передний конец штока с захватом деформируемой заготовки.

Волока вставляется в каретку цилиндрической формы и устанавливается в промежуточную проставку. Она упирается во вкладыши, зафиксированные шпандырями в требуемых для этого отверстиях на верхней и нижней рамной плите. Промежуточная проставка снабжена проёмами-окнами (для обеспечения стыковки сцепного устройства с захватом), боковыми пазами для установки упорной скобы (она фиксирует в требуемом положении каретку с волоокой), а также центрирующей проточкой (для позиционирования проставки-удлинителя, имеющей по длине цепочку пазов, аналогичных пазам промежуточной проставки). Процесс волочения проходит следующим образом (рисунок 5): в волоку вставляется заготовка, которую требуется проволочить.

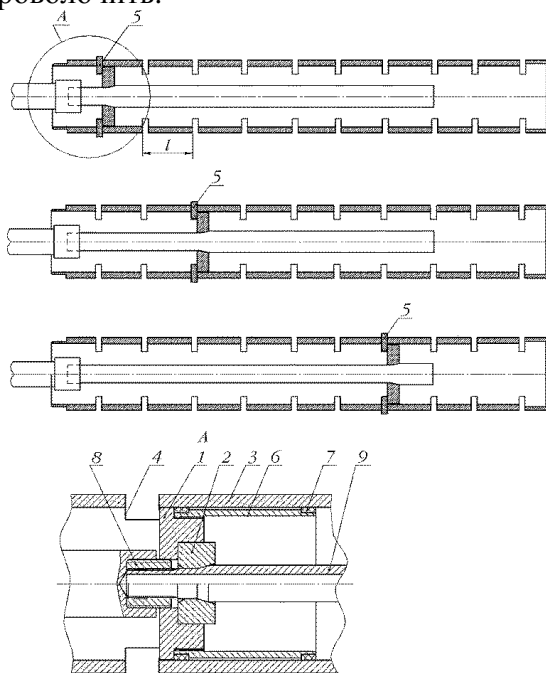


Рисунок 5 Процесс прерывистого волочения:

- 1 – волокодержатель; 2 – волока;
- 3 – проставка-удлинитель; 4 – прорезь;
- 5 – упорная скоба; 6 – направляющая втулка волокодержателя; 7 – капролоновая втулка (впоследствии от них отказались [1]); 8 – футурка; 9 – протягиваемая труба

Она соединяется с захватом. В проточку промежуточной проставки вставляется проставка-удлинитель. В пазы промежуточной проставки вкладывается упорная скоба и задаётся перемещение штока гидроцилиндра. При необходимости протянуть трубу, длина которой больше длины хода гидроцилиндра, то после достижения деформируемой заготовкой этой длины, обратным ходом гидроцилиндра каретка отводится до соответствующего паза на проставке-удлинителе, и процесс повторяется. После окончания волочения, труба выходит из волоки. Обратным ходом штока она выдвигается из промежуточной проставки. Проставка-удлинитель также отделяется, и труба вытаскивается из неё.

На основе данной разработки был спроектирован и изготовлен гидравлический волочильный стан силой 2,1 МН (рисунок 6).

Продольные усилия, возникающие при волочении, замыкаются внутри конструкции этого стана и таким образом, самокомпенсируются. Соответственно для стана такой конструкции не требуется мощного фундамента. Стан устанавливается просто на полу, в неостребованном для других работ месте (рисунок 7).

Металлоёмкость и энергоёмкость такого волочильного стана невысокая, производственную площадь занимает маленькую, уровень шума минимальный. Недостатком является не высокая производительность, хотя это не всегда является недостатком.

Для реализации процесса волочения требовалось утонение конца трубы, для организации захватки. Этот процесс также был выполнен с помощью трубогиба (рисунок 8).

Заключение

Рассмотрены технологические процессы, которые были выполнены с применением гидроцилиндра и присоединённой к нему различной оснастки: гибка, правка в различных вариантах, волочение и ковка.

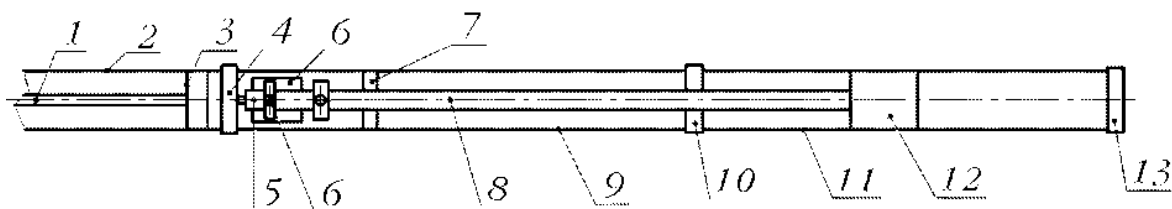


Рисунок 6 Гидравлический стан:

1 – заготовка; 2 – проставка-удлинитель; 3 – каретка с волокодержателем; 4 – упорная скоба; 5 – шарнирный захват; 6 – смотровое окно; 7 – поддерживающий диск; 8 – шток; 9 – промежуточная проставка; 10 – крышка гидроцилиндра передняя; 11 – корпус гидроцилиндра; 12 – поршень; 13 – крышка гидроцилиндра задняя



Рисунок 7 Часть цеха ООО «Дефорт»

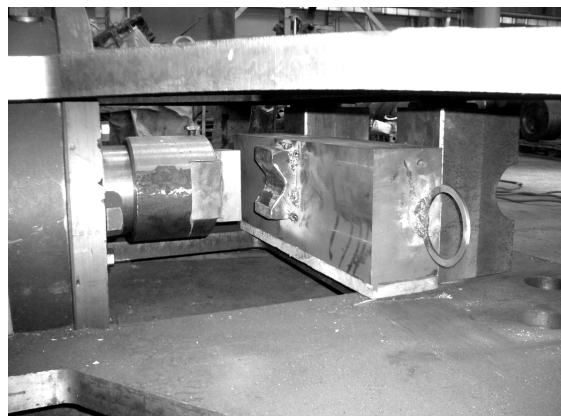


Рисунок 8. Трубогиб оснащённый для заковки конца заготовки

Следует также заметить, что работу, производимую на этом устройстве, невозможно выполнить на каком-то стандартном технологическом оборудовании, а размещать заказы на стороне, в специализированных предприятиях, практически не реально из-за малости и экономической нецелесообразности их изготовления в цехах крупносерийного производства, а также плохого выполнения работ и боязни этих предприятий выращивания себе конкурентов.

Для случая мелкосерийного и единичного производства описанное подходит идеально, поскольку работа может производиться только в случае необходимости, а в остальное время это оборудование находится в маловостребованном для производственных нужд местах.

Библиографический список

1. Комаишко С. Г., Кулик Г. Н., Моисей М. В. и др. Устройство для волочения металлических изделий (патент на полезную модель № 85374).

Information about the paper in English

S.G. Komaishko, G.N. Kulik

Defort

St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: kulik.georgnik@rambler.ru

Received 28.08.2017

THE USE OF HYDRAULIC CYLINDER FOR EFFICIENCY IN STEEL PRODUCT MANUFACTURING

Abstract

This article describes a novel application of the hydraulic cylinder in various steel production processes, such as bending, levelling, drawing and forging.

Keywords: hydraulic cylinder, production process, bending, levelling, drawing, forging.



УДК 621.792.048

Л.Т. Плаксина¹, С.В. Кандалов²,

М.О. Костромин³, В.А. Копысов⁴

¹ФГАОУ ВО Российский государственный
профессионально-педагогический университет,

^{2,3,4} ПАО «Уралмашзавод»

г. Екатеринбург, Россия

E-mail: plt2006@yandex.ru

Дата поступления: 09.11.2017

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТНОЙ НАПЛАВКИ КОЛЕСА МОСТОВОГО КРАНА

Аннотация

Приведена базовая технология полуавтоматической наплавки ходового колеса мостового крана. Спроектирована технология ремонтной наплавки с использованием автоматической сварки под слоем флюса. Приведенные технико-экономические расчеты показывают значительный экономический эффект проектируемой технологии.

Ключевые слова: колесо мостового крана, совершенствование технологии, автоматическая наплавка под слоем флюса, экономический эффект.

Введение

В данной работе предложено технологическое решение восстановления геометрических размеров изношенного ходового колеса мостового крана на основе анализа действующей технологии полуавтоматической наплавки в смеси защитных газов и технико-экономического обоснования спроектированной технологии автоматической наплавки под слоем флюса.

Основная часть

Ходовое колесо мостового крана (Рисунок 1) – колесо, предназначенное для перемещения крана по рельсовым путям,

изготовлено из стали марки 50 [1].

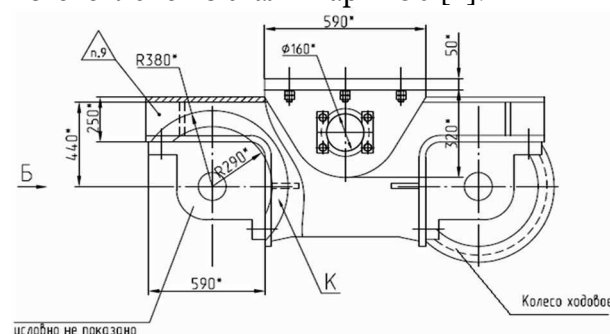


Рисунок 1. Колесо мостового крана

Таблица 1

Химический состав стали 50 [1]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,47-0,55	0,17-0,37	0,50-0,80	0,30	0,035	0,030	0,25	0,30

Таблица 2

Механические свойства

Марка стали	Механические свойства			
	Предел текучести σ_t , Н/мм ²	Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение Ψ , %
50	375	630	14	40

Оценку свариваемости выполняем в соответствии с ГОСТ 19281-2014 [2]:

$$C_{э\kappa\theta} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (1)$$

$$C_{э\kappa\theta} = 0,72\%$$

Так как сталь 50 относится к плохо свариваемым [2], рекомендуется выполнять сварку (наплавку) с предварительным и сопутствующим подогревом и последующей термической обработкой для снятия сварочных напряжений.

В базовом (действующем) варианте восстановление геометрических размеров, изношенных ходовых крановых колес осуществлялось в соответствии со следующим технологическим процессом [3 - 5]:

1. Термообработка (отжиг) для снятия эксплуатационных напряжений.

Перед термообработкой проводится осмотр на наличие сколов, трещин, острых кромок, поверхностных и других дефектов.

После чего деталь погружается в печь и производится отжиг (600-650°C, выдержка 8 часов).

2. После осуществления термообработки заготовки перед механической обработкой и последующей наплавкой осуществляется контроль твердости детали.

3. Осуществление механической обработки колеса до вывода следов износа на поверхности катания (Рисунок 2).

4. Проведение магнитопорошковой дефектоскопии (МПД) на наличие дефектов (трещин, сколов).

5. При изготовлении металлоконструкций с использованием наплавки необходимо руководствоваться конструкторской, технологической и научно-технической документацией на данное изделие и вид наплавки.

Все сварочные материалы должны пройти входной контроль и иметь свидетельство НАКС.

6. Зачистка поверхности от загрязнений, обезжиривание растворителем.

7. Перед наплавкой осуществляется предварительный подогрев детали до температуры 200 - 250 °С, так как колесо изготовлено из плохо свариваемой марки стали.

8. Наплавка.

Полуавтоматическая наплавка в смеси защитных газов Corgon-20 (80%Ar + 20%CO²) в соответствии с требованиями чертежа и настоящей технологии.

Электрогазосварщики, осуществляющие наплавку, должны быть аттестованы в НАКС (подъемно-транспортное оборудование) и иметь разряд не ниже 5-го.

Для полуавтоматической наплавки изделия используется сварочная проволока Ø1,2мм, марки Св-08Г2С, аттестованная в НАКС.

Режим наплавки: сварочный ток – I_{св}=260-280 А; напряжение на дуге – U_д=24-26 В.

Суммарная толщина наплавленного металла на участке размера 130 мм и на боковых поверхностях каждой реборды ходового колеса должна обеспечивать припуск под последующую механическую обработку не менее 10 мм (Рисунок 3).

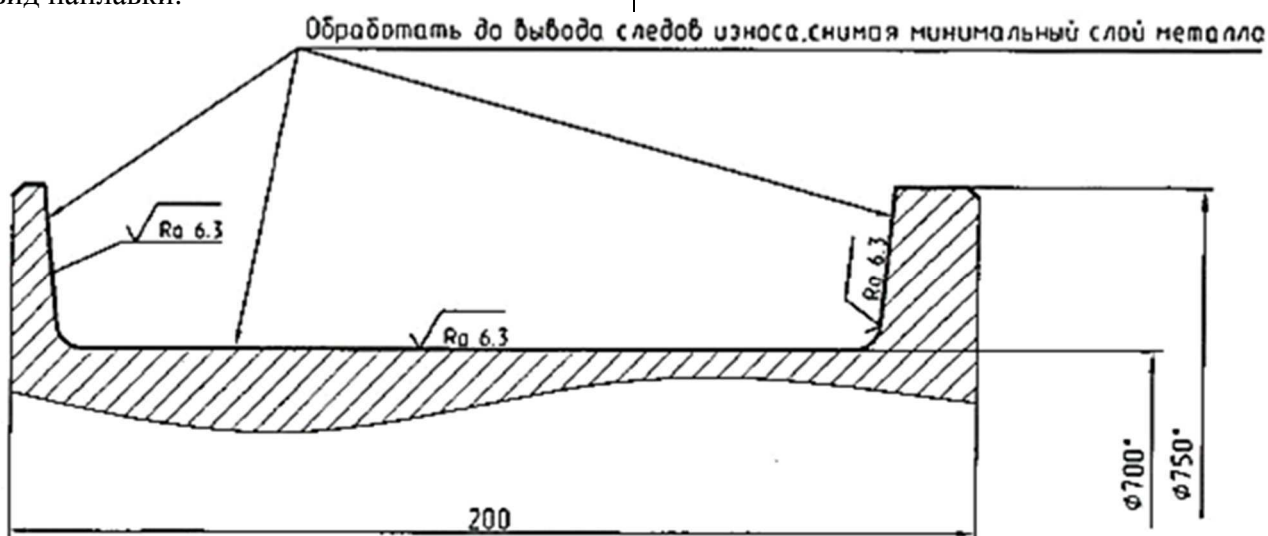


Рисунок 2. Эскиз механической обработки детали перед наплавкой

При наплавке температура детали не должна опускаться ниже 200°C. При перерывах в работе более 30 мин. Деталь необходимо укрывать асбестовым полотном в 2-3 слоя, а при возобновлении наплавки производить повторный предварительный подогрев до температуры 200-250 °С.

9. После наплавки каждого слоя произвести исправление выявленных недопустимых дефектов наплавки электродами УОНИ 13/55 Ø3мм (аттестация НАКС). Сварочный ток – 100-130 А.

10. После окончания наплавки обеспечить замедленное охлаждение изделия под двухслойным асбестовым полотном.

11. Перед окончательной механической обработкой произвести визуальный контроль качества наплавленного металла с оценкой по РД 24.090.97-98 [3].

Согласно нормам оценки по РД 24.090.97-98 [3]: недопустимыми дефектами наплавленного металла, выявленными

внешним осмотром, являются: трещины, скопление пор в количестве 5 штук на 1 см² площади наплавленного металла.

В случае обнаружения дефектов – удалить дефектный участок до «здорового» металла и заварить ручной дуговой сваркой электродами УОНИ 13/55 Ø3 мм (аттестация НАКС), сварочный ток – 100-130 А.

12. Механическая обработка детали после наплавки.

13. После механической обработки проводится контроль качества способом МПД на наличие дефектов.

14. В заключение технологического процесса ремонта ходового кранового колеса производится его термообработка в печи для снятия сварочных напряжений.

После чего колесо готово для дальнейшей эксплуатации.

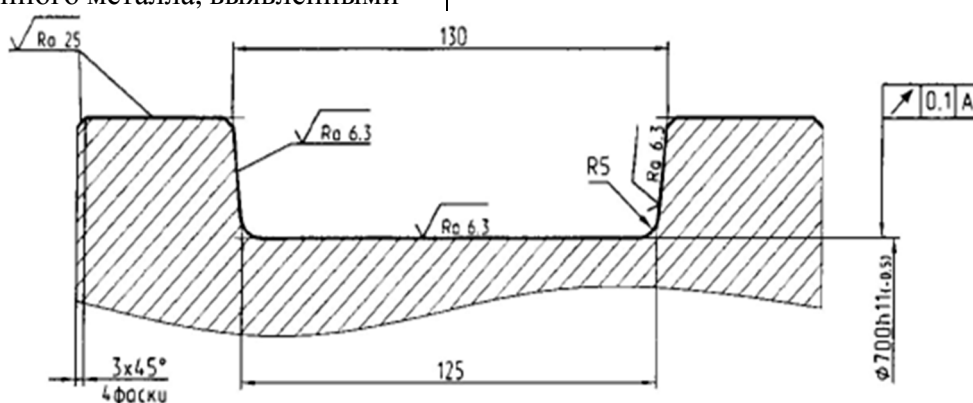


Рисунок 4. Эскиз механообработки после наплавки

В результате анализа базовой технологии выявлены следующие недостатки:

1. Значительная трудоемкость полуавтоматической наплавки.

2. Отсутствие средств механизации для осуществления наплавки.

3. Несоответствие физико-механических свойств наплавленного и основного металла (низкая твердость наплавленного слоя, вследствие чего происходит интенсивный износ рабочей поверхности катания колеса).

Предложено следующее технологическое решение по совершенствованию технологии наплавки – переход от полуавтоматической наплавки в смеси защитных

газов на основе аргона к автоматической наплавке под слоем флюса.

Предлагается замена сварочных материалов: вместо сварочной проволоки Св-08Г2С Ø1,2 мм будет использована сварочная проволока Св-08ГА Ø4 мм и 30ХГСА Ø4 мм.

Несколько слоёв проволоки Св-08ГА будут наноситься для более беспрепятственной последующей наплавки проволокой 30ХГСА, которая в свою очередь обеспечивает получение более высоких механических свойств и значений усталостной прочности, по сравнению с изначально использовавшейся проволокой Св-08Г2С.

При сварке проволокой Св-08ГА будем использовать флюс АН-22 по ГОСТ 9087-81 [6], так как данный флюс предназначен для использования при автоматической наплавке низколегированной стали.

При сварке проволокой 30ХГСА будем использовать флюс АН-47 по ГОСТ 9087-81 [6], так как данный флюс предназначен для использования при автоматической наплавке низколегированной и среднелегированной стали повышенной и высокой прочности.

Данные изменения увеличат срок эксплуатации крановых колес, и в результате сэкономят средства предприятия.

Предложен следующий технологический процесс восстановления ходового кранового колеса:

1. Термообработка (отжиг) для снятия эксплуатационных напряжений.

Перед термообработкой проводится осмотр на наличие сколов, трещин, острых кромок, поверхностных и других дефектов. Затем деталь погружается в печь и производится отжиг (600-650°C, выдержка 8 часов).

2. После осуществления термообработки заготовки перед механической обработкой и наплавкой осуществляется контроль детали на твердость.

3. Осуществление механической обработки колеса до вывода следов износа на поверхности катания.

4. Проведение МПД на наличие дефектов (трещин, сколов).

5. Нагрев колеса перед наплавкой до температуры 250-300 °С.

6. Наплавка. Для повышения уровня механизации процесса наплавки предложено применение вращателя установки для автоматической сварки под слоем флюса (установка У-83).

Наплавка сварочной проволокой Св-08ГА в два слоя (5-6мм) для выполнения подслоя на сталь 50 для улучшения свариваемости при последующей наплавке поверхности детали сварочной проволокой 30ХГСА, флюс АН-22 (ГОСТ 9087-81) [6].

После нанесения каждого слоя необходимо проводить визуальный осмотр на наличие дефектов и исправление дефектов ручной дуговой сваркой электродами

УОНИ 13/55 Ø4 мм, Сварочный ток – 160-210А.

7. Снятие детали с установки У-83.

8. Проведение промежуточной термообработки и механической обработки детали для более качественной последующей наплавки сварочной проволокой 30ХГСА и предотвращения образования дефектов.

9. Проведение МПД на наличие дефектов. При обнаружении дефектов удалить участок до «здорового» металла и заварить ручной дуговой сваркой электродами УОНИ 13/55 Ø3 мм, ток сварки 100-130 А.

10. После проведения МПД и исправления дефектов деталь снова закрепляется на установку У-83.

11. Произвести наплавку сварочной проволокой 30ХГСА с припуском под последующую механическую обработку не менее 3 мм на сторону, флюс АН-47 (ГОСТ 9087-81) [6]. После наплавки каждого слоя производить визуальный осмотр на наличие дефектов и их исправление ручной дуговой сваркой электродами УОНИ-13/65 Ø4 мм, сварочный ток – 100-130 А.

12. Снятие колеса с установки У-83.

13. Проведение термической обработки и механической обработки детали. Проверка на наличие дефектов.

При обнаружении дефектов необходимо исправить их ручной дуговой сваркой электродами УОНИ-13/65 Ø3 мм, сварочный ток – 100-130 А.

14. Окончательный контроль на наличие дефектов способами МПД или краскокапиллярной дефектоскопии (ККД).

Все сварочные материалы должны пройти входной контроль и иметь свидетельство НАКС. Электрогазосварщики, осуществляющие наплавку, должны быть аттестованы в НАКС (ПТО) и иметь разряд не ниже 5-го.

Технико-экономические расчеты базового и проектируемого вариантов восстановления геометрических размеров изношенного ходового колеса мостового крана показывают безусловное преимущество предлагаемой технологии наплавки даже без учета увеличения срока эксплуатации крановых колес (таблица 3).

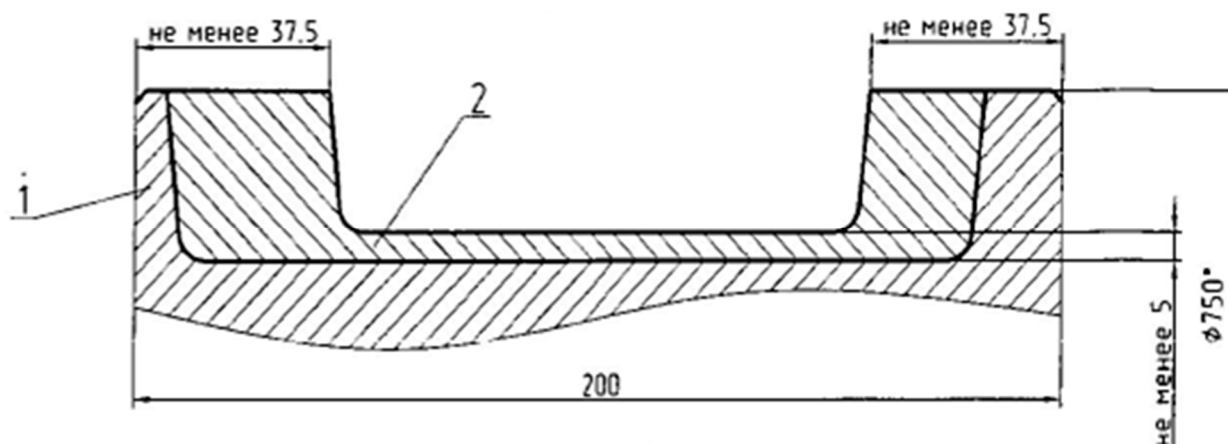


Рисунок 5. Эскиз наплавки: 1 – деталь; 2 – наплавленный металл

Таблица 3

Экономические преимущества предлагаемой технологии:

№	Наименование операции	Расход материалов Наименование		Трудоёмкость, н/ч	Стои- мость, руб
Базовая технология					
1	Подготовка поверхности изделия под наплавку и обезжиривание			0,9	990
2	Предварительный подогрев изделия			0,4	440
3	Полуавтоматическая наплавка рабочего слоя в смеси газов сварочной проволокой	Поволока Св-08Г2С Газовая смесь Corgon-20 Электрод УОНИ-13/55	61 18 0,6	19,18	31135
4	Сдача ТК цеха			0,1	95
Итого на операцию:					32660
1	Подварка дефектов наплавки перед окончательной мех/обработкой	Электрод УОНИ-13/55	0,5	0,7	665
	Итого на операцию:				665
Итого на деталь:					33325
Предлагаемая технология					
1	Установка изделия, выверка бие-ния, снятие изделия			0,3	400
2	Подготовка поверхности изделия под наплавку и обезжиривание			0,9	990
3	Предварительный подогрев			0,4	440
4	Автоматическая наплавка рабочего слоя под слоем флюса сварочной проволокой	Поволока Св-08ГА Флюс АН-22 Электрод УОНИ-13/65	23,8 29,5 0,6	2,68	3216 2975 1475
5	Подготовка поверхности изделия под наплавку			0,9	990
6	Автоматическая наплавка рабочего слоя под слоем флюса сварочной проволокой	Поволока 30ХГСА Флюс АН-47 Электрод УОНИ-13/65	45,4 54,4 0,6	4,98	6225 5448 2176
7	Сдача ТК цеха			0,1	95
Итого на операцию:					24430
1	Подварка дефектов наплавки перед окончательной мех/обработкой	Электрод УОНИ-13/65	0,5	0,7	665
	Итого на операцию:				665
Итого на деталь:					25095

Проведенные технико-экономические расчеты базового и проектируемого вариантов технологий восстановления геометрических размеров показывают, что экономический эффект предлагаемых технических решений по совершенствованию технологии наплавки колес мостового крана составляет 8230 руб/ шт. При годовой потребности по ремонту колес мостового крана в объеме 300 шт. эффект составляет 2 469 000 руб/год.

Заключение

Изменение базовой технологии позволит:

1. Автоматизировать технологический процесс наплавки крановых колес.
2. Сократить трудозатраты на выполнение наплавки.
3. Повысить эксплуатационный ресурс колес за счет применения высокопрочных сварочных материалов.
4. Повысить качество наплавленных деталей.
5. Получить значительный экономический эффект.

Библиографический список

1. ГОСТ 1050-2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. - М.: Стандартинформ. 2014. - 31 с.
2. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия. - М.: Стандартинформ. 2015. - 47 с.

3. РД 24.090.97-98. Руководящий документ. Оборудование подъемно-транспортное. Требования к изготовлению, ремонту и реконструкции металлоконструкций грузоподъемных кранов.
4. РД 24.090.100-99. Руководящий документ. Оборудование подъемно-транспортное. Указания по проведению входного контроля качества конструкционных сталей и сварочных материалов для изготовления, ремонта, реконструкции и монтажа металлоконструкций грузоподъемных кранов.
5. РД 22-322-02. Руководящий нормативный документ. Краны грузоподъемные. Технические условия на капитальный, полнокомплектный и капитально-восстановительный ремонты.
6. ГОСТ 9087-81. Флюсы сварочные плавные. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов. 1998. - 27 с.

Information about the paper in English

**L.T. Plaksina¹, S.V. Kandalov²,
M.O. Kostromin³, V.A. Kopysov⁴**

¹Russian State Vocational Pedagogical University,
^{2,3,4}Uralsmashzavod PJSC
Yekaterinburg, Russia
E-mail: plt2006@yandex.ru
Received 09.11.2017

OPTIMIZATION OF OVERHEAD CRANE WHEEL REPAIR TECHNIQUE BY WELDING

Abstract

This article describes the basic (existing) semi-automatic welding technique applied to overhead crane wheels. The authors designed a repair technique based on the use of automatic submerger arc welding. The feasibility study given indicate a significant ROI of the new process.

Keywords: overhead crane wheel, process optimization, automatic submerger arc welding, ROI.



УДК 621.855

В.Н. Трубников

ФГБОУ ВО «Курская государственная
сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

г. Курск, Россия

E-mail kgsha.pma@mail.ru

С.Г. Боев

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

г. Курск, Россия

E-mail boev.boss@yandex.ru

С.А. Сергеев

ООО «Наука и образование»

г. Старый Оскол, Россия

E-mail ssa-cib@yandex.ru

Дата поступления: 17.10.2017

МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОСТНОГО РАСЧЕТА ЦЕПНЫХ МУФТ

Аннотация

Рассмотрены основы методики вероятностных расчетов цепных муфт, позволяющие выработать единую стратегию оптимального их проектирования с учетом надежности. Необходимость такого подхода обосновывается случайным характером эксплуатационных воздействий на элементы муфт. Вероятностный расчет может выполняться и как проверочный. В статье изложен алгоритм его проведения.

Ключевые слова: цепная муфта; критерии работоспособности; проектирование муфт, надежность, износостойкость; вероятностный расчет.

Введение

Перед отечественным машиностроением стоит задача не столько наращивания объемов выпускаемой продукции, сколько повышения ее качества и конкурентоспособности. Уже на стадии проектирования новых образцов техники должна быть обеспечена надежность машины, устранено отрицательное влияние работы отдельных механизмов на функциональность машины в целом. Не последняя роль здесь отводится цепным муфтам в силу их распространенности. Только сельхозмашиностроение выпускает их около 1,5 млн. штук ежегодно. При этом срок службы цепных муфт зачастую не превышает 20-40% от ресурса машины. В конечном итоге речь идет не о финансовой составляющей вопроса, хотя и это представляется важным в контексте масштабы проблемы. Выход из строя муфты приводит к нештатным ситуациям с различной степенью последствий, что увеличивает время простоя оборудования, ве-

дет к значительным материальным потерям. Решение проблемы повышения эксплуатационных характеристик цепных муфт имеет важное народно-хозяйственное значение и может быть достигнуто путем совершенствования конструкций рассматриваемых механизмов на основе разработки эффективных методов их проектирования.

При проектировании цепных муфт выполняют, как правило, детерминистические расчеты, которые являются по своей сути расчетами по аналогии. Их можно использовать лишь для приблизительной, сравнительной оценки работоспособного состояния деталей изделия. В реальных же условиях эксплуатации нагрузка, действующая на детали цепных муфт, носит случайный характер, поэтому параллельно следует выполнять вероятностные расчеты.

Основная часть

Выполнение вероятностных расчетов цепных муфт по главным критериям рабо-

тоспособности предполагает наличие информации о распределении случайной величины z [1 - 3], которую будем определять по формуле:

$$z = x - y,$$

где x и y – случайные величины, имеющие распределение согласно рисунку 1.

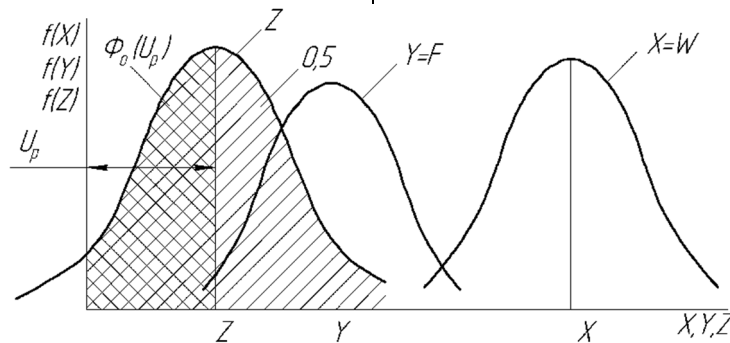


Рисунок 1. Кривые плотности распределения переменных X , Y , и Z

Условимся за x принимать способность рассчитываемой детали (в большей степени цепи [4, 5]) к сопротивлению, например, усталости, а за y – величину воздействия на нее. Обозначим:

$$x = W \text{ и } y = F,$$

Введем понятие функции безотказной работы проектируемой детали муфты как разность между ее способностью к сопротивлению W и величиной воздействия F . Очевидно, что в нашем случае величина $z = W - F$ распределяется также по нормальному или логарифмически нормальному закону (см. рисунок 1), параметры которого следующие:

математическое ожидание

$$\bar{z} = \bar{W} - \bar{F}; \quad (1)$$

среднее квадратическое отклонение

$$S_z = \sqrt{S_w^2 + S_F^2}; \quad (2)$$

коэффициент вариации

$$v_z = S_{(z)} / \bar{z}.$$

Функция распределения величины z :

$$F(z) = P\{z \geq z_*\}, \quad (3)$$

где $P\{z \geq z_*\}$ – вероятность превышения характеристики z уровня z_*

Квантиль z_p распределения величины z определяемый соотношением:

$$F(z_p) = P,$$

или с учетом выражения (3):

$$P\{z > z_p\} = P,$$

т.е. квантиль z_p уровня P является значением z , вероятность превышения которого

равна P или, другими словами, доля значений z в генеральной совокупности, превышающих z_p , равна P . Медиана распределения – квантиль $z_{0,5}$ уровня $P = 0,5$. Плотность вероятностей величины z :

$$f(z) = dF(z) / dz.$$

Необходимые выражения для определения $f(z)$ приведены в работах [3, 6].

Надежная работы муфты обеспечивается, если удовлетворяется условие $W > F$ заданной вероятностью P , причем:

$$P\{W > F\} = P\{z > 0\} = F(z_p).$$

Осуществляя нормирование нормального или логарифмически нормального распределения путем перехода от z к величине U , будем иметь:

$$F(z) = F_0(U_p),$$

где $F_0(U_p)$ – функция нормированного распределения:

$$F_0(U_p) = 0,5 \mp F(U_p).$$

где $F(U_p)$ – функция Лапласа; U_p – квантиль кодированного распределения уровня P . Знак «–» в этой формуле для расчета вероятности безотказной работы P , знак «+» – вероятности отказа Q .

При работе с функцией Лапласа помним о правиле работы с таблицей, где приводятся значения функции $F(z)$ для интервала $0 \leq z \leq 5$. Если $z > 5$, то $F(z) = 0,5$. Если $z < 0$, то используем данные той же таблицы, учитывая, что $F(-z) = -\hat{O}(z)$.

При известной величине U_p имеем

$$z_p = \bar{z} + U_p S_z.$$

Из последнего выражения следует:

$$U_p = (z_p - \bar{z}) / S_z. \quad (4)$$

Вероятность безотказной работы рассчитываемого изделия (цепи или звездочки), т.е. вероятность того, что $z > 0$ (это соответствует всей заштрихованной зоне на рисунке 1), определяем в соответствии с выражением:

$$P\{z > 0\} = F(0),$$

причем:

$$F(0) = 0,5 - F_0(U_p),$$

где $F_0(U_p)$ – нормированная функция Лапласа, которой соответствует квантиль, определяемая из выражения (4) при $z_p = 0$, т.е.

$$U_p = -\bar{z} / S_z. \quad (5)$$

Приведенные формулы позволяют выполнять вероятностные расчеты на прочность, износостойкость и по другим критериям работоспособного состояния деталей муфты в случаях, когда соответствующие величины не определены по нормальному или логарифмически нормальному закону.

Известно, что надежность цепной муфты, обусловленная износостойкостью цепи и звездочек [7-9], описывается экспоненциальным законом распределения вероятностей, особенно в случае постоянной интенсивности отказов, что соответствует периоду нормальной эксплуатации муфты. В соответствии с приводимыми выше рекомендациями, вероятность безотказной работы детали выразим в следующем виде:

$$D(z > 0) = 0,5 - F_0(U_p), \quad (6)$$

где

$$U_p = -(\bar{n} - 1) / \sqrt{(\bar{n}v_w)^2 + v_F^2}, \quad (7)$$

причем здесь $\bar{n} = \bar{W} / \bar{F}$ – коэффициент безопасности по средним значениям случайных величин; v_w , v_F – коэффициенты вариации величин W и F .

Из формул (6) и (7) следует, что вероятность безотказной работы возрастает с увеличением $\bar{n}$ и уменьшением v_w , v_F . При $\bar{n} = 1$ квантиль $U_p = 0$ и величина $P(z > 0) = 0,5$.

Математические модели (6) и (7) позволяют выполнять вероятностные расчеты на циклическую прочность (сопротивление усталости) и износостойкость деталей цеп-

ных муфт. Выражение для квантиля, используемое в расчетах на выносливость, с учетом формул (1), (2) и (5) запишем через амплитудное натяжение F_a цепи и среднее значение предела выносливости $\bar{F}_{oc}$ этой детали, превышение которого обуславливает отказ цепи:

$$U_p = -(\bar{F}_{oc} - \bar{F}_a) / \sqrt{S_{F_{oc}}^2 + S_{F_a}^2}. \quad (8)$$

Откуда приходим к выражению (7), при этом $v_w = v_{F_{oc}}$ и $v_F = v_{F_a}$.

Вероятностный расчет на прочность деталей муфты может выполняться как проверочный. Приведем алгоритм его проведения:

1. по результатам статистической обработки данных испытаний образцов и параметрам цепи необходимо определить характеристики сопротивления усталости: $\bar{F}_{oc}$ – медианное значение предела выносливости; m_F – показатель степени кривой усталости; $v_{F_{oc}}$ – коэффициент вариации предела выносливости;

2. по результатам обработки экспериментальных данных необходимо найти параметры нагруженности цепи F_{cm} и F_a – среднее и амплитудное натяжение цепи; v_{F_a} – коэффициент вариации нагрузки;

3. имея данные по пп. 1 и 2, вычисляем коэффициент $\bar{n}$;

4. по формуле (8) находим U_p ;

5. по таблице нормального распределения с учетом U_p находим $F_0(U_p)$;

6. по формуле (6) рассчитываем вероятность неразрушения детали в проектируемом приводе.

Возможна также постановка следующей задачи: по назначенной величине $P(z > 0)$ и известных значениях v_w и v_F необходимо найти коэффициент безопасности. Соответствующая математическая модель вытекает из решения выражения (7) относительно $\bar{n}$:

$$\bar{n} = \left[1 + \sqrt{1 - (1 - U_p^2 v_w^2)(1 - U_p^2 v_F^2)} / (1 - U_p^2 v_w^2) \right]$$

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

- вероятностные расчеты необходимо рассматривать как неотъемлемую составляющую процесса проектирования цепных муфт;
- задача вероятностного расчета цепных муфт может быть сведена к определению характеристик функции распределения ресурса цепи в проектируемой муфте;
- рассмотренная методика вероятностного расчета цепных муфт, является единой при оценке сопротивления усталости и износостойкости их деталей.

Библиографический список

1. Учаев, П.Н. Цепные муфты в приводе машин / П.Н. Учаев // Вестник машиностроения. -1988.-1987. – С.22-25.
2. Муфты и тормоза приводов машин / П.Н. Учаев, Г. Емельянов, И.С. Захаров и др.; под общ. ред. Н.Н. Учаева. 4-е издание, исправл. М.: Высш. шк., 2006. – 296 с.
3. Сергеев, С.А. К вопросу выполнения вероятностных расчетов цепных муфт / Сергеев С.А., Трубников В.Н., Боев С.Г. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. №4. С. 36-39.
4. Бережной, С.Б. Роликовые цепные передачи. / С.Б.Бережной - М. : МГТУ им. Баумана, 2004.-242 с.
5. Метильков С.А. Надёжность цепных передач машин / С.А. Метильков Краснодар: Советская Кубань, 2000. - 103 с.
6. Сергеев, С.А. Методология расчета динамики привода с цепными муфтами / Сергеев С.А., Трубников В.Н., Боев С.Г. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. №9. С. 179-184.
7. Климов, Н.С. Надёжность цепных муфт / Климов Н.С., Трубников В.Н., Сергеев С.А. // Механическое оборудование металлургических заводов. 2016. №1 (6). С. 47-53.
8. Сергеев, С.А. Напряженно-деформированное состояние элементов приводных цепей / С.А. Сергеев, В.Н. Трубников, С.Г. Боев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. №1. С. 31-39.
9. Сергеев, С.А. Оценка эффективности параметрической оптимизации модернизированного профиля зубьев звездочки-полумуфты / Сергеев С.А., Трубников В.Н. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. №7. С. 69-73.

Information about the paper in English

V.N. Trubnikov
 Ivanov Kursk State Agricultural Academy
 Kursk, Russia
 E-mail kgsha.pma@mail.ru
S.G. Boev
 South-West State University
 Kursk, Russia
 E-mail boev.boss@yandex.ru
S.A. Sergeev
 Nauka i obrazovanie LLC
 Stary Oskol, Russia
 E-mail ssa-cib@yandex.ru
 Received 17.10.2017

CHAIN COUPLING DESIGN TECHNIQUE BASED ON PROBABILITY CALCULATION

Abstract

This article examines the basics of probabilistic design of chain couplings, which help generate a single reliability-based design strategy. The need for such approach can be justified by the fact that a working coupling is subject to random impacts. The probability calculation can also be used for verification purposes. The article describes the algorithm of such calculation.

Keywords: chain coupling; performance criteria; coupling design; reliability; durability; probability calculation.



УДК 621.838.222

М.П. Шишкарёв
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет» (ДГТУ)
г. Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: shishkarevm@mail.ru
Дата поступления: 02.10.2017

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА КОСВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В АДАПТИВНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЕ

Аннотация

Предложен принцип косвенного регулирования в адаптивной фрикционной муфте с основной и дополнительной фрикционными группами. Управление элементами устройства отрицательной обратной связи осуществляется только за счет вращающего момента дополнительной фрикционной группы. Установлены возможные формы нагрузочной характеристики муфты, показано, что при форме нагрузочной характеристики в виде кривой, имеющей точку максимума внутри интервала значений коэффициента трения и при равенстве друг другу величин вращающих моментов, соответствующих граничным значениям коэффициента трения, муфта обладает наибольшей точностью срабатывания.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, косвенное регулирование, точность срабатывания, нагрузочная характеристика, коэффициент трения, фрикционная группа.

Введение

Предохранительные муфты, в том числе фрикционного типа, находят широкое применение в металлургическом оборудовании, в частности, в прокатных клетях и машинах прокатных станов. Решение задачи надежной защиты от перегрузок деталей и узлов оборудования является важным условием его высокой производительности и качества выпускаемой продукции.

Все адаптивные фрикционные муфты (АФМ) типа муфты инж. Н.Д. Вернера имеют одинаковую схему управляющего устройства (УУ) обратной связи и принцип автоматического регулирования величины распорной (отжимной) силы. Схема УУ основана на реализации отрицательной обратной связи, а принцип автоматического регулирования заключается в том, что величина вращающего момента, который поступает на элементы УУ, равна или кратна величине вращающего момента, передаваемого АФМ [1, 2].

Следовательно, не только величина вращающего момента, воспринимаемого элементами УУ, равна или кратна величине вращающего момента АФМ, но и изменяется по одинаковому с ним закону. Это

ограничивает точность срабатывания АФМ.

Для повышения точности срабатывания созданы АФМ с комбинированной обратной связью, в которых имеется фрикционная группа, не охваченная отрицательной обратной связью. Таким образом, оказывая влияние на характер изменения величины момента сил трения, воспринимаемого УУ, данное нововведение позволяет приблизить реальную зависимость величины распорной силы от значения коэффициента трения к аналогичной зависимости так называемой «идеальной» АФМ, коэффициент точности которой равен единице. Тем самым, появляется возможность повышения точности срабатывания муфты [3].

Однако возможности повышения точности срабатывания АФМ в последнем случае ограничены из-за влияния на формирование величины распорной силы фрикционной группы, охваченной отрицательной обратной связью.

Следовательно, можно предположить, что разделение фрикционных групп на группу, с помощью которой возбуждается отрицательная обратная связь, охватывающая вторую фрикционную группу, мо-

жет привести к возникновению положительного эффекта в виде повышения точности срабатывания АФМ.

Задачей исследования в данной работе является разработка и исследование принципиальной схемы АФМ с косвенным (удаленным) управлением основной фрикционной группой (ОФГ) при помощи дополнительной фрикционной группы (ДФГ).

Основная часть

Обратимся к принципиальной схеме объекта исследования – АФМ с косвенным регулированием, изображенной на рис. 1. Две соосные одна другой полумуфты 1 и 2

связаны между собой двумя фрикционными группами:

- ОФГ, состоящей из дисков трения 3 и 4;
- ДФГ, включающей диски трения 5 и 6.

Диски 3 связаны в окружном направлении со ступицей упорного диска 7, жестко закрепленного на ступице полу­муфты 1. Диски 4 связаны аналогичным способом с барабаном полу­муфты 2.

Диски 5 связаны в окружном направлении со ступицей нажимного диска 8, который лишен кинематической связи со ступицей полу­муфты 1 в окружном направлении, за исключением малозначимого трения между ними. Диски 6 связаны с барабаном полу­муфты 2.

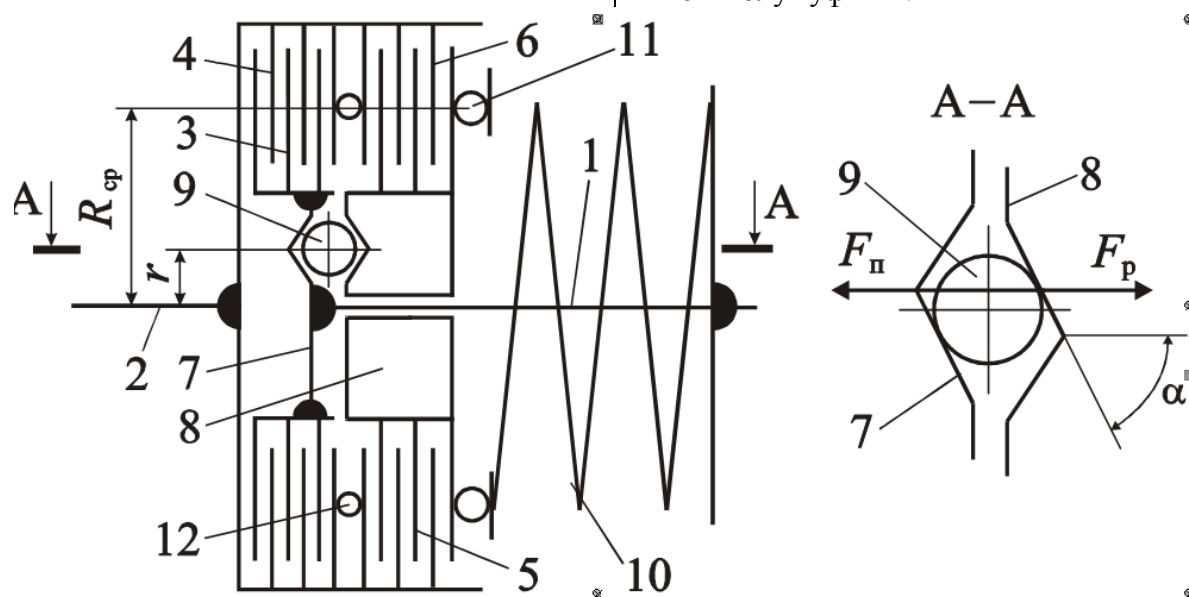


Рисунок 1. Принципиальная схема АФМ с косвенным регулированием

УУ муфты выполнено в виде тел качения 9, которые размещены в гнездах со скошенными стенками, расположенных на оп­позитных торцевых поверхностях упорного диска 7 и нажимного диска 8 (см. рис. 1, сечение А-А).

Силовое замыкание дисков трения ОФГ и ДФГ осуществляется при помощи пружины 10, поставленной в муфту с пред­варительным натяжением. Усилие пружины передается через упорный подшипник 11, а на диски трения ОФГ – через упор­ный подшипник 12.

Конструктивно-компоновочная схема фрикционных групп и связь их с нажимным диском 8 показывает, что диски трения

ОФГ не имеют кинематической связи с нажимным диском, несмотря на то, что, как и у прототипа, охвачены отрицательной обратной связью.

Передача вращающего момента между полу­муфтами 1 и 2 осуществляется при помощи обеих фрикционных групп од­новременно, на основании чего запишем:

$$T_{\Pi} = T_1 + T_2, \quad (1)$$

где T_{Π} – полный вращающий момент АФМ; T_1 – вращающий момент, передаваемый дисками трения ОФГ; T_2 – вращающий момент, передаваемый дисками трения ДФГ.

В процессе работы АФМ на диски трения ОФГ действует распорная сила F_p

(см. рисунок 1, сечение А-А), поэтому формула для вычисления величины вращающего момента T_1 имеет вид:

$$T_1 = zR_{cp}f(F_n - F_p), \quad (2)$$

где z – число пар трения ОФГ; R_{cp} – средний радиус поверхностей трения ОФГ; f – текущее значение коэффициента трения; F_n – сила натяжения замыкающей пружины 10; F_p – см. выше.

Соответственно для величины вращающего момента T_2 запишем:

$$T_2 = F_n R_{cp} f. \quad (3)$$

Все обозначения в формуле (3) соответствуют обозначениям, принятым в формуле (2).

Формула (3) записана для случая, когда число пар трения ДФГ равно единице, что, согласно данным работ [3, 4], соответствует максимальной точности срабатывания АФМ.

При выводе формулы (3) учитывалось, что на пару трения ДФГ распорная сила F_p не действует.

Также принято, что величины средних радиусов поверхностей трения ОФГ и ДФГ одинаковые.

Распорная сила УУ отрицательной обратной связи возникает за счет вращающего момента, который передает пара трения ДФГ. В связи с тем, что пара трения ДФГ не охвачена отрицательной обратной связью, величина распорной силы зависит линейно от величины коэффициента трения. В этом заключается основное отличие рассматриваемого варианта АФМ от базового варианта АФМ второго поколения.

На основании изложенного запишем соотношение для распорной силы:

$$F_p = \frac{T_2}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (4)$$

где α – угол скоса боковой стенки гнезда под тело качения 9 (см. рис. 1, сечение А-А); r – радиус окружности, на которой расположены тела качения (см. рис. 1).

Подставим правую часть формулы (3) в соотношение (4), в результате чего получим:

$$F_p = F_n C f, \quad (5)$$

где C – коэффициент усиления (КУ)

отрицательной обратной связи, вычисляемый по формуле:

$$C = \frac{R_{cp}}{r} \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

С учетом выражения (5) соотношение (2) принимает следующий вид:

$$T_1 = zF_n R_{cp} f (1 - C f). \quad (7)$$

Используя правые части соотношений (3) и (7) в равенстве (1), получим:

$$T_n = F_n R_{cp} f [1 + z(1 - C f)]. \quad (8)$$

Выражение (8) указывает на нелинейный характер нагрузочной характеристики исследуемой АФМ.

Принцип работы исследуемой АФМ не отличается от принципа работы базового варианта АФМ, поэтому возможен случай, когда величина вращающего момента ОФГ обращается в ноль. Это произойдет, если в соотношении (7) принять:

$$C = \frac{1}{f}.$$

Для того чтобы отрицательная обратная связь действовала на пары трения ОФГ во всем интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ (где $f_{\min}$ и $f_{\max}$ – соответственно минимальный и максимальный коэффициенты трения), необходимо выполнение следующего условия:

$$C \leq \frac{1}{f_{\max}}. \quad (9)$$

Исследуем характер функции (8). Данная функция имеет максимум в той точке, в которой первая производная ее равна нулю:

$$T_n'(f) = z + 1 - 2zCf_k = 0. \quad (10)$$

Корень уравнения (10)

$$f_k = \frac{z+1}{2zC} \quad (11)$$

соответствует точке, в которой функция (8) имеет максимум.

С учетом соотношения (9) (в форме равенства) величина коэффициента трения f_k составляет, на основе соотношения (11):

$$f_k = \frac{(z+1)f_{\max}}{2z}. \quad (12)$$

Из соотношения (12) следует, что

$$f_k < f_{\max}, \quad (13)$$

кроме случая, когда $z=1$. В последнем случае имеем:

$$f_k = f_{\max}.$$

Неравенство (13) показывает, что функция (8) может иметь максимум, соответствующий значению коэффициента трения, которое принадлежит интервалу $f_{\min} \dots f_{\max}$.

Впрочем, справедливость неравенства

$$f_k > f_{\min} \quad (14)$$

пока не установлена и требует более строгого доказательства.

Используя соотношение (12), запишем неравенство (14) в следующем виде:

$$\frac{(z+1)f_{\max}}{2z} > f_{\min}. \quad (15)$$

Введем коэффициент относительной ширины интервала $f_{\min} \dots f_{\max}$ в виде

$$m = \frac{f_{\max}}{f_{\min}},$$

после чего неравенство (15) запишем как

$$\frac{(z+1)m}{2z} > 1. \quad (16)$$

Обычно для сочетаний современных фрикционных материалов, применяемых в АФМ, принимают $m > 7$ [4].

Запишем неравенство (16) в следующем виде:

$$m > \frac{2z}{z+1}. \quad (17)$$

Неравенство (17) выполняется даже при больших значениях z . Так, при $z=20$ будет $m > 2$, что удовлетворяет значениям коэффициента m .

Таким образом, аналитически доказана справедливость двойного неравенства

$$f_{\min} < f_k < f_{\max}, \quad (18)$$

что подтверждает возможность достижения максимума функции (8) внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$.

В рассматриваемом случае вариант АФМ отличается от базового варианта указанной выше особенностью, которую последний не имеет.

В работах [5, 6] показано, что некоторые модификации базового варианта АФМ, обладая максимумом вращающего момента внутри интервала значений коэффициента

трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, могут иметь равенство друг другу величин вращающих моментов при граничных значениях $f_{\min}$ и $f_{\max}$. В этом случае достигается наибольшая точность срабатывания АФМ.

Поскольку выше доказана справедливость двойного неравенства (18), исследуем возможность достижения равенства друг другу величин вращающих моментов, т. е.

$$T_{п. \min} = T_{п. \max}, \quad (19)$$

где $T_{п. \min}$, $T_{п. \max}$ – величины вращающих моментов АФМ соответственно при значениях коэффициентов трения $f_{\min}$ и $f_{\max}$.

Подставим в равенство (19) правую часть соотношения (8), предварительно заменив в последнем параметр f последовательно на параметры $f_{\min}$ и $f_{\max}$. Решая составленное уравнение относительно неизвестного C , получаем:

$$C_k = \frac{z+1}{z(f_{\max} + f_{\min})}. \quad (20)$$

Разделив числитель и знаменатель решения (20) на $f_{\min}$, находим:

$$C_k = \frac{z+1}{zf_{\min}(m+1)}. \quad (21)$$

С учетом решения (21) величина коэффициента трения f_k , согласно соотношению (11), составляет:

$$f_k = \frac{(m+1)f_{\min}}{2}. \quad (22)$$

Для того чтобы найденная по соотношению (21) величина C_k удовлетворяла условию (19), она должна соответствовать следующему неравенству:

$$C_k \leq C_{\pi}, \quad (23)$$

где C_{π} – предельное значение КУ, вычисляемое по соотношению (9).

Подставляя в неравенство (23) правые части соотношений (9) (в форме равенства) и (21), имеем:

$$z \geq m. \quad (24)$$

Таким образом, для выполнения условия (23) число пар трения ОФГ должно быть, по меньшей мере, равно относительной ширине интервала изменения значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$.

Исследование точности срабатывания АФМ

Исследуем точность срабатывания рассматриваемой АФМ для двух форм нагрузочной характеристики:

- в виде кривой, монотонно возрастающей в интервале изменения значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$;
- в виде кривой, имеющей точку максимума внутри интервала изменения значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, исключая его верхнее граничное значение.

1. Кривая, монотонно возрастающая в интервале изменения значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$

Заменяя в соотношении (11) параметр f_k на параметр $f_{\max}$, получаем выражение для вычисления величины КУ, при которой может быть реализована рассматриваемая форма нагрузочной характеристики АФМ:

$$C_1 = \frac{z+1}{2zf_{\max}}. \quad (25)$$

Сопоставляя правые части соотношений (9) и (25), видим, что $C_1 < C$, что указывает на реальность получения рассматриваемой формы кривой нагрузочной характеристики.

Равенство (25) показывает, что имеется определенный запас по величине КУ, равный $\Delta C = C - C_1$.

Для рассматриваемой формы нагрузочной характеристики величина коэффициента точности АФМ вычисляется по формуле:

$$K_T = \frac{T_{n,\max}}{T_{n,\min}}. \quad (26)$$

Подставляя в соотношение (8) последовательно параметры $f_{\max}$ и $f_{\min}$ вместо параметра f и используя составленные соотношения в формуле (26), найдем:

$$K_T = \frac{f_{\max} [1 + z(1 - C_1 f_{\max})]}{f_{\min} [1 + z(1 - C_1 f_{\min})]}. \quad (27)$$

Для базового варианта АФМ, в которой момент сил трения ОФГ используется для создания распорной силы, аналогичное соотношение имеет вид:

где C_2 – КУ базового варианта АФМ второго поколения:

$$C_2 \leq \frac{1}{f_{\max}}.$$

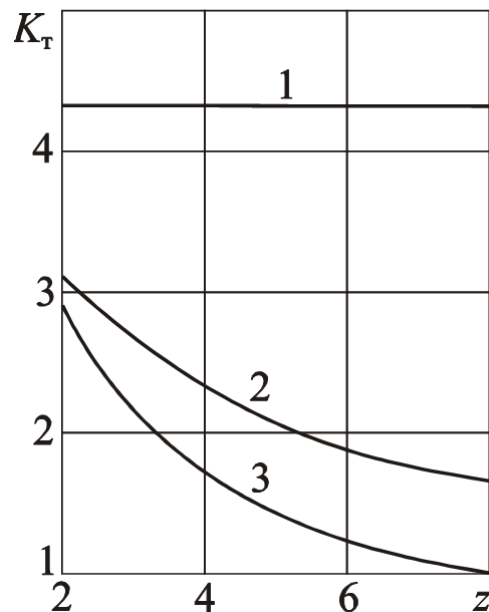


Рисунок 2. Графики зависимостей коэффициента точности АФМ от числа пар трения ОФГ для первой формы нагрузочной характеристики

Поскольку, согласно соотношению (25), величина КУ зависит от параметра z , примем этот параметр в качестве аргумента при построении соответствующих графиков. Графики изображены на рис. 2 (прямая 1 отражает функцию $K_T(z)$ согласно соотношению (27), кривая 2 – функцию $K_{T1}(z)$ по соотношению (28)). Графики построены по следующим исходным данным: $f_{\min} = 0,1$, $f_{\max} = 0,8$. При этом величина C_2 составляла 1,25.

Анализ графиков показывает следующее:

- при переменной величине C_1 величина коэффициента точности АФМ постоянная, т. е. не зависит от величины z (прямая 1);
- величина коэффициента точности базового варианта АФМ зависит от величины z и уменьшается с увеличением последней (кривая 2);
- при постоянной предельной величине C_1 коэффициент точности исследуемой АФМ уменьшается с увеличением z ,

достигая предельной точности срабатывания при $z=8$ (кривая 3);

– при всех значениях z точность срабатывания исследуемой АФМ выше, чем точность срабатывания базового варианта АФМ (кривые 2 и 3).

2. Кривая, имеющая точку максимума при значении коэффициента трения, принадлежащем интервалу $f_{\min} \dots f_{\max}$, за исключением его граничных значений

Исследуем вначале рассматриваемую кривую, особенность которой заключается в том, что величины вращающих моментов АФМ, соответствующие значениям коэффициентов трения $f_{\min}$ и $f_{\max}$, равны друг другу. Значение коэффициента трения, при котором достигается максимум величины вращающего момента АФМ, и соответствующее этому значение КУ найдены выше.

Для рассматриваемого случая величина коэффициента точности АФМ должна вычисляться по любой из следующих формул:

$$K_T = \frac{T_{f_k}}{T_{п. \min}} = \frac{T_{f_k}}{T_{п. \max}}, \quad (29)$$

где T_{f_k} – максимальный вращающий момент АФМ, соответствующий коэффициенту трения f_k (см. выше).

Подставим в соотношение (8) вместо параметра f последовательно параметры $f_{\min}$, $f_{\max}$ и, учитывая формулу (29), получим:

$$K_{T2} = \frac{f_k [1 + z(1 - C_k f_k)]}{f_{\max} [1 + z(1 - C_k f_{\max})]}. \quad (30)$$

Величина C_k в данном случае должна вычисляться по соотношению (21), а величина коэффициента трения f_k – по соотношению (11). Кроме того, согласно соотношению (24), должна приниматься величина z .

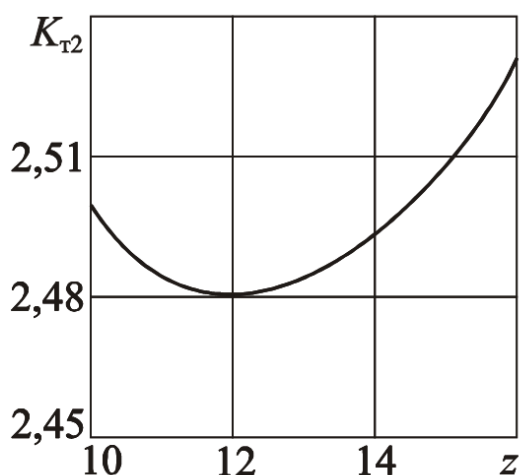


Рисунок 3. График зависимости коэффициента S точности от числа пар трения ОФГ для второй формы нагрузочной

Учитывая существующие требования к соответствующим параметрам АФМ и ограничение их значений, примем при построении графика следующие исходные данные: $f_{\max}=0,8$, $z=10; 12; 14; 16$, $m=8$.

График функции $K_{T2}(z)$, построенный по соотношению (30), показан на рис. 3. При вычислении величины C_k принято $f_{\min}=0,1$.

Анализ графика показывает следующее:

– точность срабатывания АФМ, обладающей рассматриваемой кривой нагрузочной характеристики, слабо зависит от числа пар трения ОФГ: абсолютное изменение величины K_T составляет 0,03;

– сопоставление данных графиков, изображенных на рис. 2 и на рис. 3, показывает, что точность срабатывания рассматриваемого варианта АФМ выше, чем точность срабатывания варианта АФМ с нагрузочной характеристикой в виде монотонно возрастающей кривой в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ при переменной величине КУ, которая зависит от параметра z (рис. 2, прямая 1). Кроме того, точность срабатывания рассматриваемого варианта АФМ выше, чем точность срабатывания упомянутого варианта АФМ в отдельных случаях (например, при $z=2$, кривые 2 и 3, рис. 2).

Относительно невысокая точность

срабатывания рассматриваемого варианта АФМ объясняется небольшими значениями C_k (рис. 3) при больших значениях z .

Используем аналитический способ для доказательства следующего неравенства

$$K_{\tau 2} < K_{\tau 1}. \quad (31)$$

При выполнении неравенства (31) рассматриваемая АФМ будет обладать более высокой точностью срабатывания по сравнению с базовым вариантом АФМ.

Используя в соотношении (30) правые части выражений (21) и (22), найдем:

$$K_{\tau 2} = \frac{(m+1)^2}{4m}. \quad (32)$$

Преобразуем выражение (28), разделив правую часть его на $f_{\min}$. В результате имеем:

$$K_{\tau 1} = \frac{m[m+(z-1)]}{(z+1)m-1}. \quad (33)$$

Подставляя правые части соотношений (32) и (33) в неравенство (31), найдем:

$$z < \frac{4m^2 - (m+1)^2}{(m-1)m}. \quad (34)$$

Неравенство (34) отражает условие, при котором точность срабатывания исследуемой АФМ выше, чем точность срабатывания базового варианта АФМ. Неравенство (34) записано для варианта нагрузочной характеристики в форме кривой, имеющей точку максимума внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ при условии равенства друг другу величин вращающих моментов, соответствующих граничным значениям указанного интервала (для исследуемого варианта АФМ).

Анализ неравенства (34) при значении $m=8$, обычно принимаемым в практике расчета, проектирования и эксплуатации АФМ [4], показывает, что реальными величинами являются $z \leq 2$.

Для варианта нагрузочной характеристики АФМ в виде кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, неравенство (31), с учетом соотношений (27) и (28), а также некоторых преобразований соотношения (27), имеет следующий вид:

$$\frac{m^2}{m+z(m-1)} < \frac{m[m+(z-1)]}{(z+1)m-1}. \quad (35)$$

После математических преобразований неравенства (35) получаем:

$$m(z-1) + (z+1) > 0. \quad (36)$$

Неравенство (36) выполняется при любых значениях z ($m > 0$). Следовательно, выполняется также и неравенство (35), и исходное неравенство $K_{\tau 2} < K_{\tau 1}$. Это показывает, что точность срабатывания исследуемой АФМ с нагрузочной характеристикой в виде кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, выше, чем точность срабатывания базового варианта АФМ, при одинаковых величинах параметров, включая КУ.

Исследование нагрузочной способности АФМ

Величина номинального вращающего момента АФМ является второй основной эксплуатационной характеристикой, представляющей, наряду с точностью срабатывания, основные показатели муфт [7, 8].

Оценим, в связи с этим, номинальную нагрузочную способность исследуемой АФМ в сравнении с прототипом – базовым вариантом АФМ. При сравнении будем использовать одинаковые величины параметров вариантов АФМ.

Воспользуемся для оценки номинальной нагрузочной способности, исследуемой АФМ соотношением (8). В ходе оценки исследуем последовательно обе формы кривой нагрузочной характеристики.

1. Форма кривой, монотонно возрастающей в интервале изменения значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$

В данном случае максимальная величина C ограничена согласно соотношению (9), как и величина C_1 для сравниваемого варианта АФМ.

Формула для вычисления величины предельного вращающего момента базового варианта АФМ имеет следующий вид [9, 10]:

$$T_{\pi 1} = F_{\pi} R_{\text{cp}} f \frac{z+1-C_2 f}{1+(z-1)C_2 f}. \quad (37)$$

Ограничение сверху величины C_2 отражается также соотношением (9).

Перед сопоставлением вариантов АФМ по номинальной нагрузочной способности преобразуем соотношения (8) и (37), используя для этого соотношение (9) и заменяя в соотношениях (8) и (37) параметр f на параметр $f_{\min}$.

Составив предполагаемое неравенство $T_n > T_{n1}$, запишем:

$$\frac{m + z(m-1)}{m} > \frac{(z+1)m-1}{m+(z-1)}. \quad (38)$$

После математических преобразований неравенства (38) имеем:

$$z[z(m+1)-(m-1)] > 0.$$

Очевидно, что при любых значениях параметров z и m последнее неравенство выполняется. Следовательно, всегда выполняется и неравенство $T_n > T_{n1}$, поэтому величина номинального вращающего момента исследуемой АФМ всегда больше, чем величина номинального вращающего момента базового варианта АФМ при одинаковых формах кривых нагрузочных характеристик.

2. Форма нагрузочной характеристики АФМ в виде кривой, имеющей точку максимума внутри интервала $f_{\min} \dots f_{\max}$ при равенстве друг другу величин вращающих моментов, соответствующих значениям коэффициента трения $f_{\min}$ и $f_{\max}$

В данном случае для получения заданной формы кривой нагрузочной характеристики АФМ величина КУ должна вычисляться по соотношению (21) при условии, что она не превышает величину C_n (см. соотношение (9) в форме равенства). Это выполняется при условии (24).

Величина номинального вращающего момента базового варианта АФМ по-прежнему вычисляется по соотношению (37).

В качестве рабочей гипотезы положим, что $T_n > T_{n1}$. Подставляя в соотношение (8) вместо параметра C его представление по соотношению (21), а в соотношение (37) – вместо параметра C_2 его представление $C_2 = 1/f_{\max}$, используем математиче-

ские выражения в следующем предполагаемом неравенстве:

$$\frac{(m+1) + [z(m+1) - (z+1)]}{m+1} > \frac{m(z+1)-1}{m+(z-1)}. \quad (39)$$

В результате математических преобразований в неравенстве (39) приходим к соответствующему неравенству:

$$zm(z-1) + (m+1) > 0,$$

которое выполняется при любых значениях параметров z и m . Следовательно, справедливо исходное неравенство $T_n > T_{n1}$, а величина номинального вращающего момента исследуемой АФМ больше, чем величина номинального вращающего момента базового варианта АФМ при одинаковых величинах параметров сравниваемых муфт, кроме параметров C и C_2 .

Обоснование полученных результатов

Исследование показало, что номинальная нагрузочная способность рассматриваемой АФМ выше как при различных формах кривых нагрузочной характеристики, так и при одинаковых формах. Учитывая, что сравнение номинальной нагрузочной способности муфт проводилось при одинаковых величинах параметров, в том числе, КУ (для одинаковых форм кривых нагрузочной характеристики), данное обстоятельство требует объяснения.

1. В базовом варианте АФМ распорная сила формируется как за счет вращающего момента пары трения ДФГ, так и части вращающего момента, который передают пары трения ОФГ, непосредственно связанные со ступицей нажимного диска, т.е.

$$F_p = F(T_1, T_2), \quad (40)$$

где T_1 – вращающий момент, передаваемый парами трения ОФГ, непосредственно связанными с нажимным диском; T_2 – вращающий момент, передаваемый парой трения ДФГ.

2. В исследуемом варианте АФМ распорная сила формируется только за счет вращающего момента, который передают пары трения ДФГ. Вращающий момент пар трения ОФГ не формирует распорную силу, поскольку эти пары трения не связаны с нажимным диском (кинематическая связь

нажимного диска с парами трения ОФГ незначительная благодаря установленному между ними упорному подшипнику качения).

Вполне естественно, что величина распорной силы в расчете на любое текущее значение коэффициента трения в последнем случае будет меньше. Следовательно, величина номинального вращающего момента будет выше.

Изложенное можно обосновать аналитически. Величина распорной силы в базовом варианте АФМ определяется по соотношению [11]:

$$F_p = \frac{T_2 + T_3}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (41)$$

где T_2 – вращающий момент, который передают пары трения ДФГ; T_3 – вращающий момент, передаваемый парами трения ОФГ, которые кинематически связаны с нажимным диском.

Величина вращающего момента T_2 вычисляется по следующей формуле:

$$T_2 = F_n R_{cp} f. \quad (42)$$

Формула (42) записана для одной пары трения ДФГ. Это обусловлено необходимостью достижения максимальной точности срабатывания АФМ [7].

Величина вращающего момента T_3 равна:

$$T_3 = (z - 1) R_{cp} f (F_n - F_{p1}). \quad (43)$$

Обозначения параметров, входящих в формулу (43), приведены выше.

Подставляя в соотношение (41) правые части соотношений (42) и (43), а также имея в виду, что $R_{cp} / r \operatorname{tg} \alpha = C$, согласно соотношению (6), решим составленное уравнение относительно неизвестного F_p . Имеем:

$$F_{p1} = F_n C f \frac{z}{1 + (z - 1) C f}. \quad (44)$$

Сопоставим величины распорных сил F_p и F_{p1} соответственно по формулам (5) и (41), предположив при этом, что $F_p < F_{p1}$. После некоторых математических преобразований получим:

$$z > 1.$$

Найденное условие выполняется при

всех значениях параметра z , кроме $z = 1$. В последнем случае величины распорных сил F_p и F_{p1} равны друг другу и муфты идентичны по нагрузочной способности.

Исследование особой формы нагрузочной характеристики АФМ

Выше исследованы две формы нагрузочной характеристики, исследуемой АФМ. Анализ соотношения (11) и последующих результатов, доказывающих возможность попадания величины f_k в интервал значений $f_{\min} \dots f_{\max}$, позволяет предположить, что, кроме двух исследованных форм нагрузочной характеристики АФМ, возможно существование особой, третьей формы в виде *кривой, монотонно убывающей в указанном интервале значений коэффициента трения*.

Существование особой формы возможно только в том случае, когда может быть повышена величина КУ, соответствующая форме нагрузочной характеристики в виде кривой с точкой максимума внутри интервала значений $f_{\min} \dots f_{\max}$ при равенстве друг другу величин вращающих моментов, соответствующих граничным значениям коэффициента трения.

Выше было установлено, что величина C_k (см. соотношение (21)) может быть меньше предельной величины C_n при определенном значении параметра z , согласно соотношению (24). Таким образом, увеличивая значение z , можно создать определенную положительную разность

$$C_k - C_n, \quad (45)$$

т. е. резерв для увеличения КУ при реализации особой формы нагрузочной характеристики АФМ.

Данная форма нагрузочной характеристики может быть реализована только в том случае, если величина коэффициента трения f_k станет равной $f_{\min}$.

Смещение в область меньших значений коэффициента трения f_k , при невыполнении равенства $f_k = f_{\min}$, не будет в полной мере соответствовать особой форме нагрузочной характеристики АФМ, однако, в целом, может принадлежать последней,

поскольку величина вращающего момента при значении коэффициента трения $f_{\min}$ будет превышать величину вращающего момента при значении коэффициента трения $f_{\max}$.

Оценим возможность получения равенства:

$$f_k = f_{\min}. \quad (46)$$

Для оценки необходимо определить соответствующую величину КУ и сопоставить ее с величиной C_{π} .

Используя равенство (46) в соотношении (11), получаем:

$$C_{\min} = \frac{z+1}{2zf_{\min}}. \quad (47)$$

В формуле (47) параметр $C_{\min}$ означает не минимальный по величине КУ, а КУ, соответствующий значению коэффициента трения $f_{\min}$.

Установим, при каком значении параметра z величина $C_{\min}$ не превышает предельное значение C_{π} (см. выше). Для этого приравняем друг другу правые части соотношений (9) и (47). Имеем:

$$z = -\frac{m}{m-2}, \quad (48)$$

где m – см. выше.

Соотношение (48) показывает, что равенство $C_{\pi} = C_{\min}$ выполняется только при отрицательных значениях параметра z . Поскольку, в соответствии с физической сущностью, параметр z не может быть отрицательным, указанное равенство невыполнимо и рассматриваемая особая форма нагрузочной характеристики АФМ не может быть реализована.

Очевидно, что в данном случае величина $C_{\min}$ превышает предельное значение C_{π} , что недопустимо по условиям работы АФМ.

Исследуем возможность получения нагрузочной характеристики АФМ, форма которой представлена кривой 1 на рис. 4. Данная форма отличается от декларированной выше формы тем, что максимум величины вращающего момента приходится не

на значение $f_{\min}$, а на некоторое произвольное значение f'_k , расположенное внутри интервала $f_{\min} \dots f_k$ (где f_k – значение коэффициента трения, при котором максимальная величина вращающего момента соответствует равенству друг другу величин вращающих моментов при значениях $f_{\min}$ и $f_{\max}$ – рисунок 4, кривая 2).

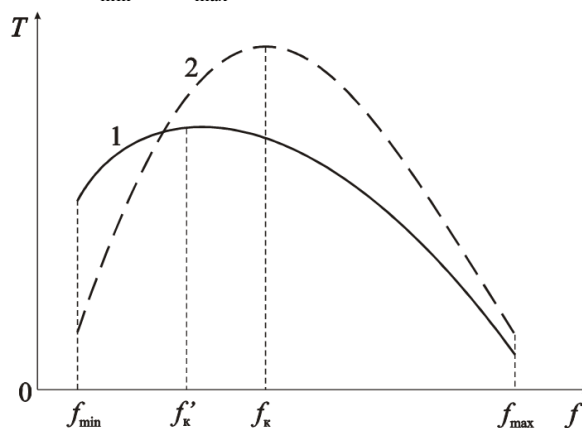


Рисунок 4. Формы кривых нагрузочной характеристики АФМ в зависимости от величины

Очевидно, что, имея положительный запас по величине КУ, равный $C_{\pi} - C'_k$ (где C'_k – величина КУ, соответствующая максимальному вращающему моменту в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_k$), можно получить множество форм кривых нагрузочной характеристики АФМ.

Найдем предельное значение C'_k , исходя из допустимой величины параметра z .

При реальном значении коэффициента m [4] допустимой величиной параметра z , основываясь на литературных данных [12], является $z = 16 \dots 18$. При указанных значениях параметра z величина C_k , согласно соотношению (21), превышает допустимое значение C_{π} , в соответствии с выражением (9).

Положим, что

$$z = nm, \quad (49)$$

где n – коэффициент: $n \neq 1$.

Согласно поставленному выше условию (24) имеем $n > 1$. Если использовать правую часть равенства (49) в соотношении (21), то получим по-прежнему величину C_k , соответствующую равенству (19). Нас же интересует форма кривой нагрузочной

характеристики АФМ, рассматриваемая в данном случае.

При исследовании примем за основу соотношение (11), показывающее значение коэффициента трения, при котором величина вращающего момента АФМ становится максимальной (в рассматриваемом случае – в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$).

Из соотношения (11) найдем величину КУ, соответствующую некоторому значению коэффициента трения f_k :

$$C = \frac{z+1}{2zf_k}. \quad (50)$$

По условию рассматриваемой задачи должно быть справедливым равенство

$$C = C_n. \quad (51)$$

Приравнивая друг другу правые части соотношений (9) и (50) и решая уравнение (51), находим искомое значение коэффициента трения f_k :

$$f_k = \frac{(z+1)f_{\max}}{2z}. \quad (52)$$

Значение коэффициента трения f_k , вычисляемое по соотношению (52), соответствует максимальной величине C_n , которая, как показано выше, меньше, чем величина $C_{\min}$.

Для вычисления величины коэффициента точности АФМ в рассматриваемом случае необходимо, зная минимальное значение вращающего момента при величине коэффициента трения f_k , согласно соотношению (52), иметь представление о скорости изменения величин вращающих моментов, соответствующих минимальному и максимальному значениям коэффициента трения, при изменении (в частности, при увеличении) КУ.

Обратимся к соотношению (8). Первые производные указанной функции, при минимальном и максимальном значениях коэффициента трения, по аргументу C соответственно равны (без учета постоянных F_n и R_{cp}):

$$D_1 = -zf_{\min}^2, \quad (53)$$

$$D_2 = -zf_{\max}^2. \quad (54)$$

Поскольку первая производная функции показывает скорость изменения ее, из соотношений (53) и (54) следует, что скорость уменьшения величины вращающего момента АФМ при максимальном значении коэффициента трения выше, чем при минимальном значении его.

Таким образом, для рассматриваемой формы кривой нагрузочной характеристики АФМ величина коэффициента точности должна вычисляться по соотношению:

$$K_T = \frac{T_{n(f_k)}}{T_{n(f_{\max})}}, \quad (55)$$

где $T_{n(f_k)}$ – величина вращающего момента АФМ, соответствующая значению коэффициента трения f_k ; $T_{n(f_{\max})}$ – величина вращающего момента АФМ, соответствующая значению коэффициента трения $f_{\max}$.

Заменяя в соотношении (8) параметр f последовательно параметрами f_k и $f_{\max}$, подставим полученные соотношения в выражение (55). Имеем:

$$K_{T3} = \frac{f_k[1+z(1-Cf_k)]}{f_{\max}[1+z(1-Cf_{\max})]}. \quad (56)$$

Используя представление (9) для предельного значения КУ, преобразуем соотношение (56) к следующему виду:

$$K_{T3} = \frac{f_k[f_{\max} + z(f_{\max} - f_k)]}{f_{\max}^2}. \quad (57)$$

Используя представление (52) для коэффициента трения f_k в соотношении (57), окончательно запишем:

$$K_{T3} = \frac{(z+1)^2}{4z}. \quad (58)$$

Из соотношения (58) следует, что величина коэффициента точности для рассматриваемой формы кривой нагрузочной характеристики АФМ зависит только от числа пар трения ОФГ.

График функции (58) приведен на рисунке 5. Анализ графика показывает следующее:

– для рассматриваемой формы кривой нагрузочной характеристики целесообразно использовать вариант АФМ с небольшим количеством пар трения ОФГ, поскольку увеличение его приводит к снижению точности срабатывания муфты;

– при небольшом количестве пар трения ОФГ точность срабатывания АФМ близка к максимальной точности срабатывания муфты с формой нагрузочной характеристики в виде кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ (см. рисунок 2, кривая 3).

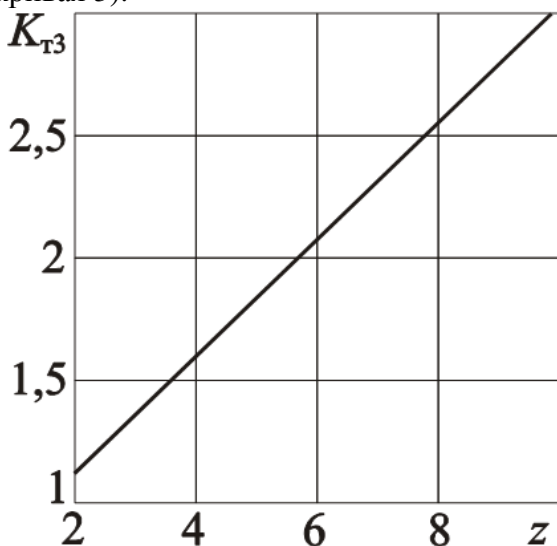


Рисунок 5. График зависимости коэффициента точности АФМ от числа пар

Что касается нагрузочной способности АФМ с рассматриваемой формой кривой нагрузочной характеристики, то анализ соотношения (8) показывает, что муфта обладает наименьшей номинальной нагрузочной способностью вследствие максимальной величины КУ.

Заключение

Принцип построения отрицательной обратной связи на основе регулирования за счет вращающего момента ДФГ применительно к базовому варианту АФМ приводит к перестройке формы кривой нагрузочной характеристики муфты. В отличие от базового варианта, в АФМ с косвенным регулированием число пар трения ОФГ влияет на форму кривой нагрузочной характеристики муфты и при увеличении его может быть получена характеристика точности срабатывания, близкая к характеристике «идеальной» АФМ.

Результаты исследования могут быть полезны при расчетах и проектировании АФМ с косвенным регулированием для синтеза варианта муфты с оптимальным со-

четанием таких эксплуатационных характеристик, как номинальная нагрузочная способность и точность срабатывания.

Кроме того, научная составляющая полученных результатов может быть использована в последующих исследованиях по применению принципа косвенного регулирования в других типах АФМ.

Выводы

1. Ограниченная точность срабатывания базового варианта АФМ обусловлена влиянием на формирование распорной силы ОФГ с нелинейной зависимостью величины вращающего момента от текущего значения коэффициента трения.
2. В работе предложен принцип косвенного регулирования, сущность которого заключается в выключении пар трения ОФГ из процесса формирования распорной силы. В данном случае управление элементами отрицательной обратной связи, охватывающей пары трения ОФГ, осуществляется только за счет вращающего момента ДФГ.
3. Показано, что, в отличие от базового варианта АФМ, вращающий момент АФМ с косвенным регулированием может принимать максимальное значение внутри интервала изменения величины коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ при определенных значениях КУ.
4. В зависимости от величины КУ, АФМ с косвенным регулированием, кроме указанной в п. 3 формы нагрузочной характеристики, может обладать следующими другими формами:
 - в виде кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$;
 - в виде кривой, в соответствии с которой величина вращающего момента при максимальном значении коэффициента трения меньше, чем при минимальном значении его;
 - в виде кривой, имеющей точку максимума внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, при равенстве друг другу величин вращающих моментов, соответствующих граничным

- значениям коэффициента трения.
5. При реализации формы нагрузочной характеристики АФМ в виде кривой, имеющей точку максимума внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, при условии равенства друг другу величин вращающих моментов, соответствующих граничным значениям коэффициента трения, величина КУ уменьшается по мере увеличения числа пар трения ОФГ.
 6. Для реализации формы нагрузочной характеристики АФМ, указанной в п. 5, число пар трения ОФГ должно быть больше величины коэффициента ширины интервала изменения значения коэффициента трения.
 7. При реализации формы нагрузочной характеристики АФМ в виде кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, величина КУ не влияет на точность срабатывания муфты.
 8. При постоянной величине КУ в АФМ с косвенным регулированием точность срабатывания муфты повышается при увеличении числа пар трения ОФГ и при определенном сочетании величин параметров муфты теоретически становится равной точности срабатывания «идеальной» АФМ.
 9. При реализации нагрузочной характеристики АФМ в виде кривой, имеющей точку максимума внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ при равенстве друг другу величин вращающих моментов, соответствующих граничным значениям указанного интервала, точность срабатывания АФМ с косвенным регулированием слабо зависит от числа пар трения ОФГ.
 10. Аналитически обосновано верхнее предельное число пар трения ОФГ, ниже которого точность срабатывания АФМ с косвенным регулированием, обладающей нагрузочной характеристикой, указанной в п. 9, выше, чем точность срабатывания АФМ второго поколения (базовый вариант).
 11. АФМ с косвенным регулированием с

- нагрузочной характеристикой в форме кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, обладает более высокой точностью срабатывания по сравнению с базовым вариантом АФМ при любых одинаковых значениях параметров.
12. Номинальная нагрузочная способность АФМ с косвенным регулированием выше, чем у базового варианта АФМ, при одинаковых значениях параметров муфт и при нагрузочной характеристике в форме кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$.
 13. Исследование особой формы нагрузочной характеристики АФМ с косвенным регулированием в виде кривой, имеющей точку максимума внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ при условии, что величина вращающего момента при максимальном значении коэффициента трения меньше величины вращающего момента при минимальном значении коэффициента трения, показало следующее:
 - точность срабатывания АФМ зависит только от числа пар трения ОФГ, уменьшаясь при его увеличении;
 - при небольшом числе пар трения ОФГ точность срабатывания АФМ сопоставима с максимальной точностью срабатывания ее при реализации других форм нагрузочной характеристики.
 14. Нагрузочная способность АФМ с косвенным регулированием при реализации особой формы нагрузочной характеристики ниже, чем при реализации других форм формы нагрузочной характеристики.

Библиографический список

1. Шишкарёв М.П. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел // Изв. вузов. Машиностроение. 1994. № 4–6. С. 43–47.
2. Шишкарёв М.П. Оптимизация вели-

- чины коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. 2003. № 6. С. 30–31.
3. Шишкарёв М.П. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт / Вестн. машиностроения. 2005. № 12. С. 17–18.
 4. Шишкарёв М.П. Выбор типа предохранительного устройства привода машины // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2007. № 12. С. 3–5.
 5. Шишкарёв М.П. Теоретические основы применения двухконтурной отрицательной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах // Вестн. машиностроения. 2005. № 8. С. 19–21.
 6. Шишкарёв М.П., Угленко А.Ю. Исследование эксплуатационных характеристик адаптивных фрикционных муфт второго поколения // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2013. № 4. С. 21–26.
 7. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел 2-го поколения / Шишкарёв М.П. // Математические методы в технике и технологиях: материалы XVIII Междунар. науч. конференции. Казань: Изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов». С. 72–76.
 8. Шишкарёв М.П. Оптимизация компоновочного решения базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения / Вестн. машиностроения. 2006. № 6. С. 7–10.
 9. Шишкарёв М.П. Повышение надежности адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 4. С. 6–9.
 10. Шишкарёв М.П. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения с дифференцированными парами трения (ч. 2). Известия Орел-ГТУ. 2008. № 3-2/271 (546). С. 67–71.
 11. Шишкарёв М.П., Угленко А.Ю. Исследование эксплуатационных характеристик адаптивных фрикционных муфт второго поколения // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2013. № 4. С. 21–26.
 12. Шишкарёв М.П., Чан Ван Дык. Исследование вариантов адаптивных фрикционных муфт второго поколения / Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 9. С. 42–45.

Information about the paper in English

Shishkarev M.P.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
E-mail shishkarevm@mail.ru
Received 02.10.2017

THE PRINCIPLE OF INDIRECT ADJUSTMENT APPLIED FOR ADAPTABLE FRICTION COUPLING

Abstract

This article describes the principle of indirect adjustment applicable in adaptable friction couplings with primary and auxiliary friction groups. The inverse back coupling is only controlled due to the torque of the auxiliary friction group. Three possible forms of the coupling load characteristic have been identified. It is shown that if the load characteristic is given as a curve with the peak point being within the friction ratio range and with the torques being equal to each other and equal to the limit values of the friction ratio, the coupling shows the best performance.

Keywords: Adaptable friction coupling, indirect adjustment, performance, load characteristic, friction ratio, friction group.



УДК 621.771.2

Е.А. Максимов¹, Р.Л. Шаталов²,
Е.П. Устиновский³, П.Б. Уткин³

¹ЗАО «Интрай»

г. Челябинск, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

г. Москва, Россия

³ФГАОУ ВО «Южноуральский государственный

университет (национальный

исследовательский университет)»

г. Челябинск, Россия

E-mail: maksimov50@mail.ru

Дата поступления: 11.12.2017

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИВОДА РОЛИКОВ РОЛЬГАНГА РОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Аннотация

Представлена уточненная методика расчета мощности электродвигателя индивидуального привода ролика рольганга роlikо-правильной машины (РПМ). Приведен пример расчета электродвигателя индивидуального привода ролика рольганга тринадцатирольиковой правильной машины UBR 10-2000. Момент, затрачиваемый на потери на трение в подшипниках при транспортировке листа по рольгангу $M_{тр} = 0,05$ кНм, и момент, затрачиваемый на буксование листа на роликах $M_б = 0,5$ кНм, суммарный момент $M_с = 0,55$ кНм. Для рассчитанных моментов выбран электродвигатель АРМ 73-16 мощностью $N_{дв} = 3$ кВт, частотой вращения 340 об/мин, ПВ = 40 %, КПД $\eta = 70\%$.

Ключевые слова: правка толстых стальных листов, роlikовая листовая правильная машина, расчет мощности электродвигателя индивидуального привода ролика рольганга РПМ.

Введение

На металлургических предприятиях нашей страны и за рубежом правка толстых стальных листов, как правило, осуществляется на роlikовых правильных машинах (РПМ), оснащенных рольгангами, установленными на входе и выходе из РПМ.

В настоящее время для расчетов мощности электродвигателя привода роlikов рольганга РПМ при проектировании правильных агрегатов пользуются известными методиками [1-4]. Анализ методов расчетов [1-4] показал, что при определении мощности электродвигателя не учитывается мощность, расходуемая на ускорение или торможение (динамический момент).

Целью работы является повышение точности расчетов мощности электродвигателя индивидуального привода роlikов

роlikанга РПМ при проектировании агрегатов правки.

Основная часть

Рольганги с индивидуальным приводом роlikов применяются для транспортировки толстых листов, когда нагрузка от массы металла, приходящегося на каждый ролик, не велика. Для привода рольганга применяются асинхронные электродвигатели в двух исполнениях: обычные с лапами и фланцевые. Ролики исполняются из толстостенных труб. Цапы роlikов рольганга устанавливают на конических роlikовых подшипниках. Рамы роlikов отливают из чугуна марки СЧ 15-32.

Основными параметрами роlikов рольганга являются: диаметр, длина бочки и шаг между роliками. Обычно длину бочки роlikов принимают равной длине

бочки роликом РПМ. Шаг роликов выбирают из условия, что лист должен лежать не менее чем на двух роликах. Однако он не должен быть слишком большим, иначе металл может пригибаться между роликами.

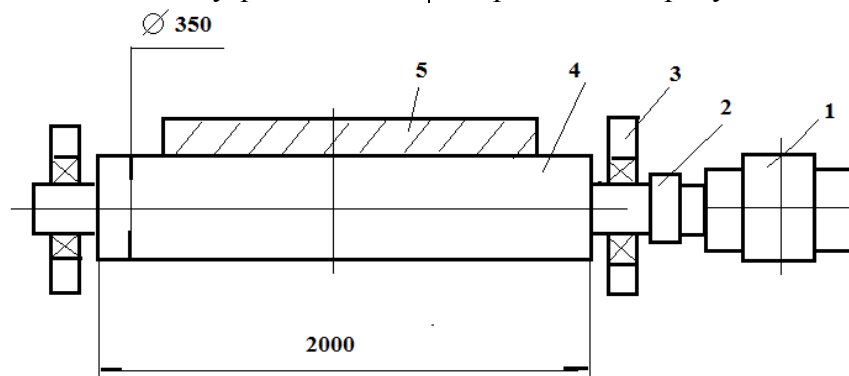


Рисунок 1. Схема привода ролика рольганга РПМ: 1- электродвигатель, 2- муфта, 3- подшипниковые опоры, 4- бочка ролика, 5 -лист

Момент, затрачиваемый на потери на трение в подшипниках при транспортировке листа по рольгангу, запишем в виде [5]:

$$M_{TP} = 0,5 (Q + nG) f_p d_p, \quad (1)$$

где Q - вес выправляемого листа,

n - количество роликов,

G - вес ролика,

f_p - коэффициент трения в подшипниках роликов.

d_p - диаметр трения в подшипниковых опорах,

Момент [5], затрачиваемый на буксование листа по роликам, при транспортировке листа по рольгангу, запишем в виде

$$M_B = 0,5 Q f_B D, \quad (2)$$

где f_B - коэффициент трения ролика при буксовании по холодному металлу,

D - диаметр ролика.

Суммарный момент привода для « n » роликов рольганга, запишем в виде

$$M_C = M_{TP} + M_B + M_{дин}. \quad (3)$$

Максимальную стрелу прогиба, (рисунок 2) ролика определим по формуле [5]:

$$f_{MAC} = \frac{Ql^3}{48 EJ} K, \quad (4)$$

где K - коэффициент, $K = 1,1-1,2$,

l - длина бочки ролика,

E - модуль упругости материала ролика,

Скорость вращения между роликами рольганга должна быть на 10-12 % больше скорости выходящего из роликов РПМ листа.

Схема привода ролика рольганга РПМ приведена на рисунке 1.

$$J = \frac{\pi D^4}{64} - \text{момент инерции.}$$

Расчеты показали, что максимальная стрела прогиба ролика не превышает допустимой величины [5].

Мощность, расходуемую на преодоление динамического момента, запишем в виде [5]:

$$N_{дин} = M_{дин} \omega, \quad (5)$$

где $\omega = 2\pi n/60$ - частота вращения якоря электродвигателя.

Динамический момент определим по формуле [5]:

$$M_{дин} = \sum \frac{mD_i^2}{4} \frac{d\omega}{dt}, \quad (6)$$

где $mD_i^2/4$ - маховый момент, приведенный к валу электродвигателя,

$\frac{d\omega}{dt}$ - угловое ускорение.

При ускорении вращения роликов рольганга находящийся на них лист движется поступательно с ускорением. Тогда приведенный к валу двигателя динамический момент запишем в виде:

$$M_{дин} = \frac{1}{4} (mD_{я}^2 + mD_{м}^2 + mD_{р}^2), \quad (7)$$

где $mD_{я}^2$ - маховый момент якоря электродвигателя,

$mD_{м}^2$ - маховый момент муфты,

$mD_{р}^2$ - маховый момент ролика.

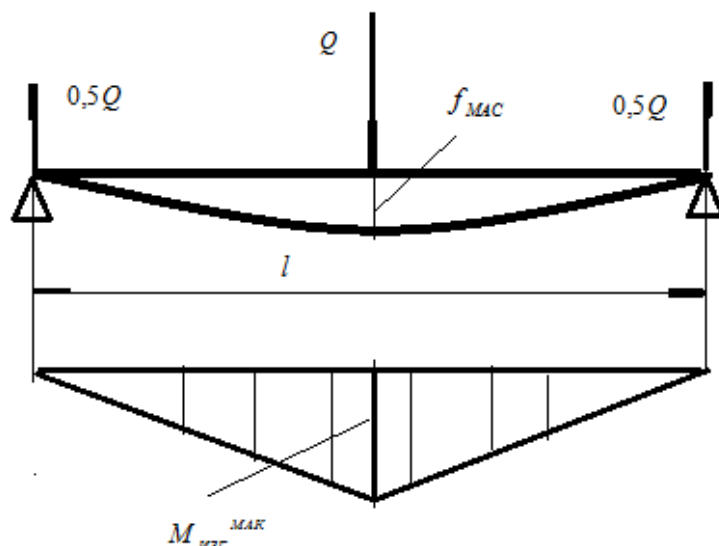


Рисунок 2. Схема определения максимальной стрелы прогиба ролика рольганга РПМ

Определим момент и мощность электродвигателя индивидуального привода ролика рольганга для тринадцатироликовой машины UBR10-2000, для правки листа из стали Ст3, Ст20, 09Г2С толщиной 4-12мм, шириной 600-1500 мм. Правильная машина UBR 10-2000 имеет: диаметр правильных роликов 140 мм, количество рабочих роликов 13 штук, длина роликов 2000 мм, скорость правки 16 м/мин, диаметр роликов рольганга 350 мм.

На тринадцати роликовой машине UBR 10-2000 правке подвергается лист длиной 12 м, толщиной 10,0 мм, шириной 1500 мм. Вес листа равен 14 кН. Принимаем, что лист наибольшего веса при транспортировке его по рольгангу лежит на пяти роликах. Ролик изготавливается из трубы с толщиной стенки 25 мм. Диаметр ролика рольганга $D = 350$ мм, длина между опорами $l = 3000$ мм, коэффициент трения в подшипниках роликов $f_p = 0,008$, коэффициент трения при буксовании по холодному металлу $f_b = 0,1$.

Определим момент, затрачиваемый на потери на трение в подшипниках при транспортировке листа по рольгангу по формуле (1) и момент, затрачиваемый на буксование листа по роликам, при транспортировке листа по рольгангу по формуле (3), а также суммарный момент по формуле (3): $M_{тр} = 0,05$ кНм, $M_b = 0,5$ кНм,

$M_c = 0,55$ кНм. Максимальную стрелу прогиба ролика определим по формуле (4) $f_{макс} = 0,06$ мм.

Зная суммарный момент привода рольганга по каталогу подбираем асинхронный трёхфазный электродвигатель АРМ 73-16 мощностью $N_{дв} = 3$ кВт с частотой вращения 340 об/мин, ПВ= 40 %, кпд $\eta = 70\%$. Для электродвигателя АРМ 73-16 при $n = 340$ об/мин маховый момент якоря составляет $\frac{1}{4}mD_{я}^2 = 7,7$ Нм².

По каталогу подбираем для муфты типа МФО с внутренним диаметром 60 мм $\frac{1}{4}mD_m^2 = 4,6$ Нм². Маховый ролика $\frac{1}{4}mD_{p2}^2 = 0,25$ Нм². Динамический момент рассчитываемый по формуле (7) 12,55 Нм².

Представленная методика расчета мощности электродвигателя индивидуального привода роликов рольганга при правке толстых стальных листов на роликовой правильной машине, позволяет учитывать динамический момент при разгоне и торможении деталей привода роликов рольганга, что повышает точность расчетов на 2-8% по сравнению с традиционной методикой [5] при выборе характеристики электродвигателя.

Закключение

1. Представлена методика расчета мощности электродвигателя индивидуального привода роликов рольганга при правке толстых стальных листов на роликовой правильной машине, что позволяет учитывать динамический момент при разгоне и торможении деталей привода роликов рольганга. Учет динамического момента повышает точность расчетов на 2-8% по сравнению с традиционной методикой при выборе характеристики электродвигателя

2. Приведен пример расчета электродвигателя индивидуального привода ролика рольганга тринадцатирольковой правильной машины UBR 10-2000. Момент, затрачиваемый на потери на трение в подшипниках при транспортировке листа по рольгангу $M_{тр} = 0,05$ кНм, и момент, затрачиваемый на буксование листа по роликам $M_{б} = 0,5$ кНм, суммарный момент $M_{с} = 0,55$ кНм. Выбран электродвигатель АРМ 73-16 мощностью $N_{дв} = 3$ кВт с частотой вращения 340 об/мин, ПВ= 40 %, КПД $\eta = 70\%$.

Библиографический список

1. Шелест А.Е. Юсупов В.С., Перкас М.М., Шербатов Е.Н., Просвирнин В.В., Акопян К.Э. Разработка методики определения геометрических параметров металлических листов на роликовых машинах // Производство проката .2016. № 7. с.3-8.
2. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л. О настройке натяжных многороликовых устройств при обработке полосового проката (сообщение1) // Сталь. 2014. № 1. – С.49-51.
3. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л. О настройке натяжных многороликовых устройств при обработке полосового проката (сообщение 2) // Сталь .2014. № 5. с.53-57.
4. Недорезов И.В. Моделирование процессов правки проката на роликовых машинах.-Аква-Пресс,- Екатеринбург: 2003.- 256 с.
5. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станков /А.А. Королев.- М : Металлургия , 1983. 371 с.

Information about the paper in English

E.A. Maksimov¹, R.L. Shatalov²,
E.P. Ustinovsky², P.B. Utkin³

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University (national research university)"

Chelyabinsk, Russian Federation

²Moscow Polytechnic University

Moscow, Russian Federation

E-mail: maksimov50@mail.ru

Received 11.12.2017

POWER CALCULATION FOR A SEPARATE ROLLER DRIVE OF THE ROLLER LEVELER

Abstract

This article describes an optimized technique for calculating the power of a separate roller drive motor of the roller leveler. An example is given for a separate roller drive motor for a UBR 10-200013-roller leveler. The moment accounting for friction losses in the bearings when the plate is travelling on the roller table $M_{fr} = 0.05$ kNm, and the moment accounting for the plate slipping on the rollers $M_s = 0.5$ kNm, the total moment $M_t = 0.55$ kNm. The following motor was chosen for the calculated moments: type – ARM 73-16, power - $N_m = 3$ kW, speed – 340 RPM, duty rating - PV= 40 %, efficiency factor $\eta = 70\%$.

Keywords: steel plate leveling, plate leveler, power calculation for a separate roller drive motor of the roller leveler.



УДК 621.77109

М.З. Певзнер, Ю.Л. Апатов, Д.О. Виноградов,
К.В. Иванов-Польский, Е.А. Куимов
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»
г. Киров, Россия
E-mail: mikhailpevzner@yandex.ru
Дата поступления: 27.11.2017

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЦВЕТНОГО ПРОКАТА

Аннотация

Исследовали влияние геометрии фрез, конструкции станочного оборудования и режима двустороннего фрезерования горячекатаных полос меди и медных сплавов на стойкость фрез, выход годного, производительность и качество, в частности, рельеф фрезерованной поверхности. Предложена модель формирования рельефа поверхности в зависимости от жёсткости технологической системы, режима обработки, а также конструкции и геометрии фрез. Полученные результаты позволили повысить чистоту поверхности, стойкость фрез и производительность, а также уменьшить потери.

Ключевые слова: горячекатаные полосы, фрезерование проката, рельеф фрезерованной поверхности, геометрия фрез.

Введение

Фрезерование заготовки, предназначенной для лентопрокатного производства, широко используется в отечественной и зарубежной практике, поскольку позволяет освободиться от основной массы поверхностных дефектов как литейного происхождения, например, после литья полос [1], так и возникших при горячей прокатке. При этом важно наряду с обеспечением максимально возможных производительности и выхода годного предотвратить появление на поверхности проката новых дефектов, в частности, «заката стружки», особенно характерного для фрезерования мягких материалов. Вообще, качество фрезерованной поверхности, определяющее условия трения при последующей прокатке, её характерный рельеф, обусловленный прерывистостью процесса резания [2, 3] и состоящий из чередующихся «гребешков» и впадин, имеет в этом случае особое значение. Оно, с одной стороны, должно обеспечивать достаточно высокий коэффициент трения захвата полосы в валки прокатного стана, с другой – предотвращать характерный (особенно для мягкого цветного металла) вид брака – «надиры» или «задиры» (ГОСТ 21014-88), обусловленный межвитковым трением при разматывании рулона в

процессе последующей прокатки. Высота «гребешков» относительно впадин h , определяющая шероховатость R_z фрезерованной поверхности, находится из чисто геометрических представлений как функция диаметра фрезы D и расстояния между соседними «гребешками» L , откуда видно, что с увеличением L высота гребешков увеличивается параболически:

$$h = L^2 / 4D \quad (1)$$

Следует отметить, что исследования этого процесса применительно к прокату имеют весьма ограниченный характер [4]. Между тем фрезерование проката принципиально отличается от фрезерования жёстко закреплённой в приспособлении детали – оно характеризуется менее жёсткой технологической системой связи: станок-приспособление-инструмент-деталь («система СПИД») [5]. Действительно, место закрепления полосы и место её обработки в этом случае может разделять многометровое расстояние. Это должно определять не только рельеф фрезерованной поверхности, но и стойкость инструмента, а также его оптимальную конструкцию, в частности углы резания, наконец, оптимальные режимы резания полос из различных материалов [6]. Целью настоящей работы была комплексная оптимизация процесса фрезерования с

учётом обеспечения эффективной последующей прокатки.

Методика проведения работы

Предметом исследования была линия двустороннего фрезерования, состоящая, в частности, из правильно-размоточной машины, тянущих роликов с последующей правильной машиной, относительно жёстко связанных с обрабатываемой полосой, ножниц, станков «встречного» [2, 3] фрезерования верхней и нижней сторон полосы и свёрточной машины (рисунок 1). На Кировском заводе ОЦМ она предназначена для обработки полос меди, латуни, бронзы и медно-никелевых сплавов, таблица 1.



Рисунок 1. Общий вид линии двустороннего фрезерования

Таблица 1.

Технологические характеристики линии двустороннего фрезерования

Характеристики заготовки - горячекатаных полос	
толщина	7-14 мм
ширина	500-750 мм
внутренний диаметр рулона	480-550 мм
внешний диаметр рулона	800-1500 мм
масса рулона	до 5 т
σ_b	260-350 МПа
δ	20-56%.
Характеристика обработанного рулона	
ширина полосы	492-742 мм
наружный диаметр	800-1500 мм
внутренний диаметр	480-550 мм

В качестве инструмента традиционно используются сборные цилиндрические

фрезы диаметром ~250 мм с 14 винтовыми ($\omega = 25^{\circ}53'$ град) зубьями (рисунок 2) [3]. Они «набираются» из пластин Р6М5, а затем затачиваются по заднему α и переднему γ углам. Для контроля углов заточки с целью их оптимизации был выбран угломер 2УРИ по ТУ2-034-617-84, и проводилось обучение работников завода методике его использования. Несмотря на существенную погрешность ($\pm 20^{\circ}$) прибор имеет ряд преимуществ: специализирован для контроля фрез, а поправка на количество зубьев фрезы вводится непосредственно на самом приборе, доступном в производственных условиях, малогабаритном и относительно дешёвом. Углы варьировали в достаточно широких пределах: $\alpha = 8^{\circ} - 13^{\circ}$, $\gamma = 1^{\circ} - 12^{\circ}$, контролируя стойкость фрез и качество обработанной поверхности. Дополнительно изготавливали фрезы с количеством зубьев 7 или 2 вместо 14, для чего из фрез вынимались «лишние» зубья².

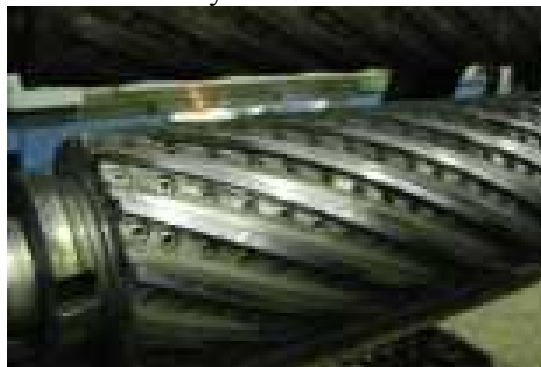


Рисунок 2. Фреза в сборе

Варьировали режим обработки: скорость вращения фрезы n (об/мин) и скорость движения полосы, «минутную подачу» S_M , (м/мин), величину углов заточки фрезы α и γ , толщину съёма (в пределах 0,25-0,6 мм на сторону). Рассчитывали подачу на оборот S_O и подачу на зуб S_Z , которая в соответствии с классической теорией резания [2, 3] должна быть равна расстоянию между «гребешками» L на образующей фрезерованной поверхности (2):

$$S_Z = S_M / (n \times Z) = S_O / Z = L, \quad (2)$$

где: S_M - скорость движения полосы, «минутная подача» (м/мин),

n - скорость вращения фрезы (об/мин),

Z - количество зубьев.

² В работе участвовал Вотинцев Ю.М.

С учётом радиуса фрезы ($R \approx 125 \text{ мм}$) оценивали теоретическую высоту гребешков h (см. формулу 1), определяющую «склонность» к образованию «надигов». При том, что расчётная высота, не учитывающая пластическую деформацию при резании, несколько завышает фактические значения высоты h_f , очевидна необходимость ограничения величины L в случаях, когда на поверхности проката наблюдаются надиры. Контролировали фактическое расстояние между соседними гребешками L_f и качество фрезерованной поверхности в целом, стойкость фрез, выход годного при обработке различных материалов и производительность.

Для оценки влияния усилия резания, жёсткости технологической системы и числа зубьев фрезы на рельеф поверхности на универсальных горизонтально-фрезерных и специализированных станках для фрезерования многотонных слитков обрабатывали цилиндрическими фрезами с числом зубьев $Z=6^3$ и $Z=22$ плоскую поверхность из цветного сплава. Варьировали усилие резания от минимального при минимальной толщине снимаемого слоя ($\sim 0,02 \text{ мм}$) до максимально возможного при толщине слоя (при фрезеровании слитков) до 10 мм , а также жёсткость закрепления обрабатываемого материала. Для моделирования минимальной жёсткости системы деталь закрепляли с использованием упругой прокладки.

Модернизировали конструкцию «проводки», установленной в станке фрезерования верхней стороны полосы, рисунок 3, и оценивали эффективность разных вариантов её конструкции, в частности, в предотвращении образования дефекта «закат стружки».

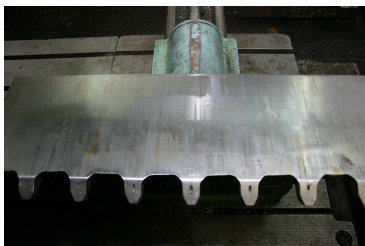


Рисунок 3. «Проводка» в исходном состоянии

Результаты исследования

При переходе от обработки полос одного сплава к другому замена инструмента не производится вследствие её трудоёмкости и ограниченности инструментального парка. Поэтому выбранные углы заточки фрезы должны в достаточной степени подходить всем обрабатываемым сплавам. Исследование углов заточки фрез, используемых к моменту проведения работы, показало: $\gamma = 9-10^\circ$, $\alpha = 8-9^\circ$. Но по различным данным, при обработке цветных металлов цилиндрическими фрезами со вставными ножами задний угол должен составлять $\alpha > 10^\circ$. В противном случае, а также при сильном износе фрезы, когда вблизи режущей кромки $\alpha \approx 0^\circ$ в процессе резания происходит «затирание» по задней грани, катастрофически быстрый износ фрезы. В нашем случае предельный угол, при котором уже возможно повреждение заточным кругом соседнего зуба, составлял $\alpha \approx 13^\circ$. Таким образом, с учётом погрешностей обработки и контроля нами рекомендован оптимальный задний угол $\alpha = 11-12^\circ$. Из опробованных нами передних углов максимальную стойкость показали фрезы с углами $\gamma = 1-4^\circ$. Надо полагать, что значение оптимального, в частности, переднего угла зависит от режима фрезерования и установление этой зависимости требует дополнительных широких и долгосрочных исследований.

«Закат стружки» был практически прекращён в результате модернизации «проводки», позволившей гарантировать интенсивный воздушный поток, сдувающий стружку, и заменившей трение скольжения при движении полосы на трение качения (замена втулки на подшипники). Этому способствовало также использование в качестве смазочно-охлаждающей жидкости веретённого масла.

В результате проведённых работ рекомендовано уменьшение толщины снимаемого слоя при удовлетворительной планшетности полосы вплоть до $0,25 \text{ мм}$. Наряду с повышением выхода годного это

³ В работе участвовали Шадрин В.А., Хаитов К.Е.

предотвратило случаи превышения предельно допустимой нагрузки двигателя, которые ранее периодически имели место при обработке сварных рулонов в районе шва. Уменьшение толщины съёма также способствовало устранению дефекта «закат стружки», так как образующаяся при этом стружка меньшего размера (рисунок 4) лучше удаляется пневмосистемой. Заметим, что при этом она также лучше брике-тируется (рисунок 5), что весьма важно, так как транспортировка и удаление небрикетированной стружки достаточно затруднительны.



Рисунок 4. Медная стружка в зависимости от толщины снимаемого слоя: 0,25 мм слева и 0,5 мм справа



Рисунок 5. Брикетсы латунной стружки

Видно, что при фрезеровании по традиционно используемым режимам № 1 и №2 (табл. 2) расстояние между гребешками равно не подаче на зуб S_z , а подаче на оборот S_o :

$$L = S_o = S_m / n \quad (3)$$

При часто используемом на предприятии уменьшении расстояния между гребешками L за счёт уменьшения скорости

подачи S_m величина L , (как и S_o), естественно, уменьшается, но это связано и с соответствующим уменьшением производительности труда (режим № 3), то есть этот режим не может быть принят как основной. Уменьшение количества зубьев в 2 раза ($Z = 7$) при тех же традиционных режимах хотя и не привело к выполнению (2), но всё же «приблизило» L к S_z (режим № 4). Наблюдается на первый взгляд необъяснимое явление: вместо ожидаемого в соответствии с чисто геометрическими представлениями увеличения L «прореживание» зубьев привело к его уменьшению. Видно, что L стало занимать промежуточное положение: $S_z < L < S_o$. (Дальнейшее уменьшение количества зубьев до $Z = 2$ приводило к выполнению $L = S_z$ (2), но качество фрезерованной поверхности становилось неудовлетворительным, т.к. оно стало в большей степени зависеть от профиля каждого из оставшихся зубьев).

Места крепления больших слитков при фрезеровании со значительным съёмом на сторону и большими нагрузками (табл. 3, режимы 1-3) также расположены достаточно далеко от места обработки. Видно, что здесь $S_z < L < S_o$. При минимальном съёме и минимальной нагрузке (№ 4 и №5) в соответствии с условием (2) выполняется: $L = S_z$. Наоборот, в условиях «мягкой» технологической системы и существенной нагрузки наблюдается другая «крайность»: за счёт использования упругих прокладок при креплении детали и достаточно значительного съёма реализуется свойственное традиционным режимам в линии фрезерования полос (см. табл. 2, режимы №1-2) $L = S_o$ (№ 6).

Таблица 2

Результаты расчёта подачи на зуб S_z в сравнении с фактическими значениями «расстояния между гребешками» L при обработке полос в линии фрезерования по традиционно используемой (режимы № 1-2) и опытным технологиям

№	Обрабатываемый материал	n, об/мин	S_m , м/мин	Z	$S_o = S_m / n$, мм	S_z , мм	L, мм
1	медь, простые латуни, ЛМц58-2	800	8	14	10	0,71	~ 10
2	сплавы МН-19, МНМц50-10-5	600	6	14	10	0,71	~ 10
3	медь, простые латуни, ЛМц58-2	800	4	14	5	0,36	~ 5
4	латунь Л63	800	8	7	10	1,43	~ 5

Таблица 3

Результаты расчёта и фактические значения расстояния между гребешками L_{Φ} , получаемые при обработке латуни на специальных и универсальных горизонтально-фрезерных станках слитков и брусков в реально используемых и моделируемых технологических процессах при наличии в крепеже детали специально установленных упругих элементов (У) или при их отсутствии (О)

Характеристика станка и материала	№	Δh , мм	n, об/мин	S_m , мм/мин	S_o , мм	У/О	z	S_z , мм	L_{Φ} , мм
Специальные станки, слитки латуни длиной до 5,5 м	1	~ 2	1540	40000	25,97	О	22	1,18	5...7
	2	~ 2	1410	25000	17,73	О	22	0,81	"
	3	~ 2	1580	30000	18,99	О	22	0,86	"
Универсальные станки, латунные бруски массой до 1 кг	4	~ 0,02	31,5	1600	50,79	О	6	8,47	8...9
	5	~ 0,02	63	1600	25,396	О	6	4,233	~4
	6	~ 0,3	63	315	5	У	6	0,833	~5

Обсуждение результатов

Расстояние между гребешками, наблюдаемое после обработки по традиционным режимам (см. №№ 1-3, табл. 2), противоречит чисто геометрическим представлениям, по которым каждый следующий зуб должен оставлять на полосе след на строго одинаковом расстоянии S_z от предыдущего. Отклонения от этого отмечаются лишь в случае явления «подхватывания» при попутном фрезеровании [2, 3]. Единственное объяснение данного явления, по нашему мнению, можно дать лишь на основе представлений об упругих деформациях технологической системы [4]. Обрабатываемая полоса относительно жёстко связана лишь с правильной машиной и, в меньшей степени, с роликами фрезагрегатов. Кроме пластической деформации в зоне резания вся полоса между точками закрепления и обработки подвергается действию

сложно распределённых напряжений. В результате значительного взаимного удаления вышеуказанных точек закрепления при тех же усилиях резания суммарные упругие деформации здесь особенно велики. В этом случае процесс представляется следующим образом. Очередной винтовой зуб ещё находится в «зацеплении» с обрабатываемой полосой, когда следующий за ним зуб входит в зацепление и, следовательно, «скребёт» полосу практически в том же месте. И так далее до тех пор, пока напряжения в технологической системе за счёт непрерывного наматывания обработанной полосы не достигнут столь значительных величин, что фреза относительно полосы перескочит (провернувшись) на довольно значительное расстояние, которое и равно L . Дальше процесс последовательной обработки несколькими зубьями в одном месте полосы продолжается до следующего

«скачка» (проворота) фрезы относительно полосы и т. д.

Исходя из этой модели, можно объяснить, почему в достаточно широком диапазоне режимов обработки выполняется $L = S_0$. Естественно полагать, что скачок происходит в момент, когда усилия напряжения в технологической системе превысят силы сопротивления сдвигу фрезы относительно полосы, то есть когда, с одной стороны, упругие напряжения достигают достаточной величины, с другой - когда сопротивление этому скачку минимально. Фреза устанавливается на шпиндель с определённым эксцентриситетом и, следовательно, из 14 зубьев один врежется в полосу наиболее глубоко, другой, расположенный напротив первого, - наименее глубоко. Судя по нашим результатам ($L = S_0$, см. таблицу 2), момент превышения усилия напряжения над силами сопротивления сдвигу фрезы наступает в единственном положении, повторяющемся через 14 зубьев. Понятно, что наиболее вероятен скачок полосы в момент, когда вследствие своего биения фреза максимально приподнята над обрабатываемой полосой, в результате чего сопротивление её скачку минимально.

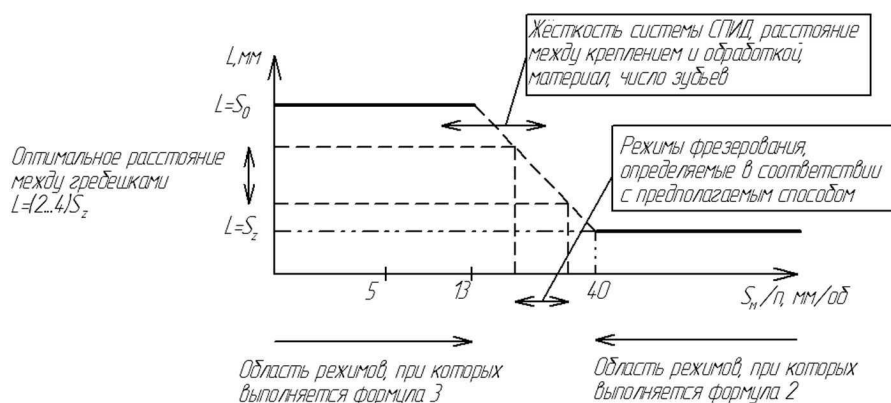
При редком расположении зубьев (см. табл. 2, режим 4) предыдущий (вышедший из «зацепления») зуб уже не находится в «зацеплении», не задерживает проворота фрезы при нарастании упругих напряжений и скачок происходит раньше завершения полного оборота. Было сделано предположение, что замедление вращения фрезы должно дать эффект, сходный с эффектом от «прореживания» зубьев. То есть при относительно малых оборотах фрезы упругие напряжения должны достигать максимальных значений, достаточных для скачка, раньше завершения полного оборота. Как показали результаты наших дополнительных исследований для $S_M/n = 13, (3) - 40$ мм/об, при уменьшении n первоначально соотношение $L = S_0 = 13, (3)$ сохраняется (табл. 4, режим 1). Но дальнейшее уменьшение n (увеличение соотношения S_M/n)

приводит на первый взгляд к парадоксальному явлению: к образованию принципиально иного рельефа фрезерованной поверхности. Процесс, наблюдаемый в диапазоне $n=200-400$ об/мин, можно охарактеризовать как «разбиение» одной большой исходной впадины размером L на промежуточные впадинки и общее выравнивание профиля. Следует отметить, что большие исходные впадины не исчезают совсем, а сохраняются в виде чуть заметных по высоте волн, каждая из которых по-прежнему равняется по длине $S_0 = S_M/n$. Таким образом, явления последовательной работы в одном месте полосы 14 зубьев, как показали наши исследования, можно избежать при увеличении соотношения S_M/n . Рельеф полученной поверхности складывается из мелких впадин и волн, но весь он по высоте много меньше, чем исходная впадина между гребешками, например, при $L=10$ мм. Видно, что с уменьшением n L (длина вновь образовавшихся впадин) всё ближе приближается к S_Z и лишь при $n=200$ ($S_M/n = 40$ мм/об) сравнивается с S_Z , то есть только в этом случае начинает выполняться формула (2). Таким образом, соотношение S_M/n - один из главных факторов, определяющих характер образующегося рельефа поверхности, и его влияние на L достаточно условно представлено на схеме (рис. 6). Видно, что зависимость $L = f(S_M/n)$ можно представить в виде диаграммы, состоящей из горизонтальных участков: $L = S_0$ и $L = S_Z$, а также из некоего промежуточного участка, представленного условно в виде пунктирной линии.

Таблица 4

Результаты расчёта подачи на зуб S_z в сравнении с фактическими значениями «расстояния между гребешками» L при обработке полос,двигающихся со скоростью $S_M = 8$ м/мин, в линии фрезерования по режиму, характеризующемуся увеличенной подачей на оборот ($S_0 = S_M/n = 13-40$ мм/об) фрезой с числом зубьев $Z = 14$

№	Обрабатываемый материал	Z	$S_0 = S_M/n$, мм/об	S_z , мм	L, мм
1	Л63	14	13,(3)	0,95	~ 13
2	Л63	14	20	1,43	~ 5
3	Л63, ЛМц58-2	14	26,(6)	1,90	4-5
4	Л63	14	40	2,86	~ 3

Рисунок 6 Влияние режима фрезерования (соотношения S_M/n) на L

Производили обработку по различным режимам до полного износа фрез. При фрезеровании по традиционным используемым режимам №1 и №2, см. таблицу 2, поверхность полосы была достаточно грубой. В результате последующей обработки (холодной прокатки на трёхклетевом стане до размера 1,8 – 2,0) на поверхности ленты обнаруживались надир. Прокатка осуществлялась в эмульсии, но в месте образования надиров при разматывании рулона фрезерованной полосы имеет место «сухое» трение, а для его предотвращения потребовалось бы вводить дополнительную предварительную технологическую операцию промасливания фрезерованной полосы.

Выполнение соотношения $L = S_z$ (см. таблицу 4 режим 4), привело к необходимости соблюдения особых требований к качеству фрез и, как следствие, к частой их замене. Действительно, в этом случае каждый зуб обрабатывает отдельную впадину, а дублирование его работы следующим по окружности фрезы зубом не осуществляется. В результате фрезерованный профиль

стал в точности отражать дефекты обрабатываемого инструмента, например, «выкрашивание» зуба или естественный зазор между режущими пластинами.

Наименее рельефный профиль поверхности и одновременно наибольшая стойкость фрез обнаружена при работе по режимам, характеризующимся промежуточными значениями S_M/n (№№ 2, 3, см. таблицу 4). Уже первой парой фрез было отфрезеровано: 2 рулона меди, 2 – Л63, 4 – МНМц50-10-5, 16 – ЛМц58-2, что существенно больше нормы обработки между переточками. Если ранее замену фрез осуществляли 1-2 раза в смену, то при переходе на режимы №№ 2, 3 (см. таблицу 4) замену производят в среднем не чаще 1 раза в сутки при трёхсменной работе линии фрезерования. Дефекты «надиры» на поверхности ленты, прокатанной из полос, отфрезерованных по новым режимам, при этом не обнаруживались.

Заключение

1. Форма профиля поверхности фрезерованной полосы, определяемая законо-

мерностью расположения и параметрами формы образуемых зубьями фрезы «гребешков» и впадин, не соответствует представлениям классической теории резания металлов.

2. Причиной невыполнения формулы определения «подачи на зуб» являются значительные упругие деформации, обусловленные особенностями конструкции и малой жёсткостью технологической системы, свойственными линиям непрерывного фрезерования проката.
3. Профиль фрезерованной поверхности может регулироваться в зависимости от соотношения скорости подачи полосы и скорости вращения фрезы, радиального биения зубьев фрезы и их количества, толщины снимаемого слоя и усилия резания, а также жёсткостью технологической системы.
4. Оптимальное сочетание минимальной шероховатости фрезерованной поверхности и максимальной стойкости инструмента может быть достигнуто при условии, когда работа формирующего впадину зуба дублируется несколькими следующими расположенными по окружности фрезы зубьями.
5. Применительно к конкретной линии фрезерования модифицирована конструкция фрезеагрегата, оптимизированы углы резания и разработаны режимы обработки, обеспечившие:

- повышение стойкости инструмента,
- уменьшение шероховатости поверхности,
- повышение производительности.

Библиографический список

1. Дукмасов В.Г., Ильичев В.Г. Эффективность современных технологий в металлургии: под ред. Г.П. Вяткина. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 178с.
2. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
3. Банников Е.А. Справочник фрезеровщика. Ростов н/Д.: Феникс, 2005. 320 с.
4. Певзнер М.З. О режимах фрезерования и рельефе поверхности фрезерованных полос // Производство проката. 2008. № 9. С. 24-26.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т.: под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001.
6. Барановский Ю.В., Брахман Л.А., Гдалевич А.И. Режимы резания металлов: Справочник: под ред. А.Д. Корчемкина. М.: НИИТавтопром, 1995. 456 с.
7. Справочник инструментальщика. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.

Information about the paper in English

**M.Z. Pevzner, Yu.L. Apatov, D.O. Vinogradov,
K.V. Ivanov-Polsky, E.A. Kuimov**

Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education «Vyatka State University»
(FSBEI HE «VyatSU»)
Kirov, Russian Federation
E-mail: mikhailpevzner@yandex.ru
Received 27.11.2017

ON THE IMPROVEMENT OF THE NON-FERROUS ROLL STRIP MILLING

Abstract

The authors looked at the effect produced by the mill geometry, the design of the machine and the process of two-sided milling of hot-rolled strips made from copper and copper alloys on the durability of mills, recovery, output rate and quality (in particular, on the topography of the milled surface). The authors propose a model for creating a surface profile depending on the adaptability of the system, the machining mode, as well as on the mill design and geometry. The results obtained helped improve the surface finish, the durability and the efficiency of mills and reduce losses.

Keywords: hot-rolled strips, rolled steel milling, topography of the milled surface, mill geometry.



УДК 378.147.227

Р.В. Залилов
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им.Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, РФ
E-mail: zalilov74@ya.ru
Дата поступления: 14.12.2017

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Аннотация

Предложена методика проведения практических занятий для улучшения освоения практических навыков в области измерений, используемых в процессе выполнения контроля и диагностики в технике. Данная методика направлена на развитие у обучаемых навыков поиска информации, самостоятельности, самоконтроля и планирования своих действий.

Ключевые слова: образование, методика выполнения измерения, средства измерения.

Введение

В современной системе подготовки специалистов в области ремонта и обслуживания технологических машин и оборудования должны быть развиты компетенции, позволяющие качественно и своевременно организовывать обслуживание и проведение работ по восстановлению работоспособности деталей, узлов и агрегатов. Одним из основных навыков является определение параметров, определяющих состояния машины и выбор методики для измерения этого значения. Освоение данных умений в настоящее время осложняется сокращением аудиторных часов на дисциплины, то есть большую часть информации студенту приходится познавать самостоятельно. Это ставит перед преподавателями сложную задачу в процессе организации проведения занятий в том числе, подготовки материалов, позволяющих наиболее верно решить поставленные задачи при самостоятельной работе. При этом учащийся должен выполнять задание не по шаблону, где существует единственный вариант, а наоборот – предусматривать несколько вариантов возможного решения поставленной задачи, из которых он должен выбрать согласно имеющимся условиям. В ходе выполнения задания необходимо чтобы студент применил знания из материалов дисциплин, которые уже пройдены и проходят

параллельно. В результате небольшие практические работы имеющие междисциплинарные связи превращаются в минипроекты, в которых будет прослеживаться логическая связь и позволяющие повысить уровень усвоения знаний и навыков студентов.

При использовании такой системы проведения занятий у студентов будет более широко развиваться кругозор и применение полученных знаний уже на производстве.

Основная часть

В современной системе подготовки специалистов в области обслуживания и ремонта узлов и деталей машин, и агрегатов должно уделяться больше времени для получения навыков в области проведения диагностики применяя прямые и косвенные измерения. Данные умения и полученные знания позволят провести своевременную, точную диагностику и избежать вынужденных простоев оборудования. Эти навыки приобретаются в процессе изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» и далее закрепляются при прохождении специальных дисциплин по профилю образования, в связи с чем перед преподавателем ставится ряд непростых задач:

1. Сущность параметра влияющего на критерий оценки работоспособности на примере какого-либо узла;

2. Выбор методики выполнения измерения с пояснением необходимости выполнения всех пунктов при выполнении измерения;

3. Проверить правильность применения методики выполнения измерения;

4. Закрепление полученных навыков в ходе обучения и использование в практической деятельности

Вышеуказанные задачи формулируются из компетенций, приведенных в федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования в сфере подготовки технических специалистов [1, 2]:

- способностью выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидро- и пневмоавтоматики, различных комплексов, оборудования и производственных объектов, технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов с использованием типовых методов контроля качества выпускаемой продукции;

- способностью обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления, умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий;

- умеет проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования

- умеет применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий

Основное условие для успешного выполнения первой задачи напрямую зависит от умений и навыков полученными студентом в ходе изучения предшествующих дисциплин и прохождения практик. Данные знания учащимися приобретаются при прохождении таких дисциплин, как инженерная графика, физика, математика, сопротивление материалов и детали машин,

где осваиваются умения выполнять расчеты, обрабатывать полученную информацию, устройство и принцип работы различных механизмов и машин, чтение и изготовление чертежей, а также область применения различных конструкций. Вышеприведенные навыки также должны закрепляться в ходе прохождения практики. В противном случае преподавателю придется затратить довольно много времени на объяснение устройства и работы деталей и контролируемый критерий, с наглядным приведением конкретных примеров на простейших элементах (*например, зазор в паре подшипник скольжения – вал, рисунок 1*). Именно на этом этапе закладывается понятие важности выполнения измерения параметра, который является критерием оценки и необходимости его выполнения в процессе диагностики для получения информации определяющей состояние детали, узла, машины или целого комплекса оборудования. Все это способствует стимулированию студента к более глубокому изучению вопросов рассматриваемых дисциплиной.

Преподавателю при решении первой задачи необходимо обратить внимание к поиску наиболее верного и оптимального решения студентом критерия оценки узла (детали). Для выполнения поиска решения студент должен ответить на следующие вопросы:

- какой принцип измерений наиболее оптимален для получения достоверного результата;

- какие средства измерения необходимо использовать;

- как верно обработать полученный результат.

Рассматривая вышеприведенный пример, зазор в паре подшипник скольжения – вал, его можно определить, измеряя отдельно диаметры вала и подшипника или непосредственно зазор, дополнительно для такой пары необходимо установить требования к допускам формы (цилиндричность, круглость и другие).

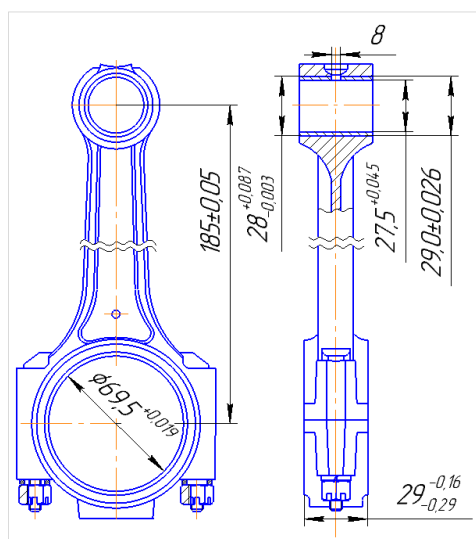


Рисунок 1 Графическая часть задания

Для реализации данной задачи необходимо наиболее верно составить задание, при решении которого студент должен найти информацию каким образом будет производиться проверка состояния узла (деталей) и выбрать параметр или ряд параметров, по которым можно оценить годность исследуемого объекта для дальнейшей эксплуатации.

Преподаватель должен обладать не только соответствующими навыками и умениями проведения, но и опытом проведения данных исследований, которые передаются студенту в ходе выполнения данной работы. Первый из этих навыков заключается в поиске достоверной информации по методике проведения измерений, которую можно получить со следующих источников: техническая документация на машину, узел или деталь (*Руководство по эксплуатации*), методики выполнения измерений (*Технические регламенты, ГОСТы, рекомендации производителя и др.*) и техническая документация на средство измерения. В ходе поиска вышеприведенной информации студент должен уметь использовать не только бумажные носители, но и информационно - мультимедийные ресурсы (*сайты производителя, Росстандарта, и другие информационные ресурсы*). В ходе самостоятельной работы студент должен ознакомиться с полученной информацией и сделать выводы, ответив на следующие вопросы:

1 Возможность использования данной информации на основании области применения методики;

2 Метод и точность измерения;

3 Необходимые типы средств измерений;

4 Необходимые условия для выполнения измерения;

5 Порядок проведения измерений;

6 Порядок обработки результатов измерений;

7 Правила оформления и представления результатов измерений.

Если студент ответит на эти вопросы, то он может приступить к выполнению измерений, выполняя алгоритм действий, составленный при ответе на вышеуказанные вопросы. При этом преподаватель должен проконтролировать и указать ошибки, поясняя их сущность. Это является наиболее важным чем, полученный результат измерений, так как на этом может проявиться источник недостоверной информации.

Реализация второй задачи направлена на поиск методики выполнения измерения выбранного параметра из первой задачи. Студент (группа) должен составить порядок своих действий в виде пошаговой инструкции, где должны быть подробно описаны действия во время проведения измерения и порядок обработки полученных значений. Описание действий должно полноценно давать ответы на поставленные вопросы при решении задачи *рисунок 2*. Рассматривая процесс измерения зазора между коленчатым валом и вкладышем, бессмысленно сразу измерять зазор калиброванными полосками, так как они являются одноразовыми элементами, но позволяющими наиболее точно определить искомое значение – зазор. Хотя такой способ, не позволяет определить какой элемент (вал, вкладыш, шатун) изношен (негодный). Определение зазора целесообразно начинать с измерения диаметров шейки вала и шатуна. Студент в ходе выполнения данной работы должен закрепить следующие знания:

Математика – расчет и обработка полученных результатов;

Инженерная графика – изображение и чтение чертежей;



Рисунок 2. Схема определение зазора в паре шатун – коленчатый вал

Метрология – методы и средства измерения;

Стандартизация – поиск и использование нормативных документов;

Взаимозаменяемость – требования к допускам форм и размеров и др.

Сущность третьей задачи заключается в освоении процесса выполнения измерения студентом путем контроля над ходом выполнения измерений. На практике эффективность освоения методик измерения улучшалась при работе студентами группой 3-4 человека. Где один студент проводит и обрабатывает результаты измерений, а остальные студенты наблюдают за ним, фиксируя ошибки. После чего студенты меняются ролями. Преподаватель в это время

фиксирует неточности и отклонения, совершенные оператором измерений (студентом). После чего студенты проводят обсуждение, анализ полученных результатов, указывая друг другу совершенные ошибки выполнения в ходе измерений, выясняя причину, а преподаватель это время выступает третьим независимым лицом, выполняя функции судьи. Подводя итог, преподавателю необходимо чтобы полученный результат измерений не только был достоверным, но и все действия обучаемых, начиная с подготовки измерения до предоставления результата, были выполнены без отклонений.

Наиболее эффективным способом закрепления знаний, поставленных в четвертой задаче является использование междисциплинарных связей при прохождении других курсов (дисциплин). При этом преподаватель должен составить задание на самостоятельную работу таким образом, чтобы учащимся потребовалась данная информация, пройденная на предыдущем или параллельном курсах. Сама работа может быть представлена в следующих формах:

- раздел курсового проекта;
- подготовка к практическим и лабораторным работам;
- контрольные вопросы;
- проекты, доклады, презентации и семинары.

Заключение

Применение данной системы в виде мини проекта к проведению практической работы позволит студентам расширить кругозор знаний в области техники, измерения и диагностики. Но интереса только одного преподавателя будет недостаточно. Необходимо чтобы в проекте участвовала группа ведущих преподавателей, которые согласовали темы своих практических занятий и заданий в самостоятельной работе. В этих работах необходимо предусматривать связь между полученными и получаемыми навыками в логической цепи в различных предметах. При соблюдении данных условий можно будет заложить в студента необходимые компетенции и обеспечить запоминание за счет нескольких повторений и логических объяснений в виде ответов на поставленные задачи.

Процесс обучения должен не только проходить в виде предоставления алгоритма действий, но и содержать пояснения выбора данных шагов при решении поставленной задачи.

Библиографический список

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (уровень бакалавриата)" (Зарегистрировано в Минюсте России 12.11.2015 N 39697)
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов (уровень специалитета)" (Зарегистрировано в Минюсте России 17.11.2016 N 44359)
3. Бутырин В.Н. Организация системы синтезирующего повторения при обучении будущих специалистов в техническом вузе // Вестник северо-восточного государственного университета. 2010. № 13. С. 20-24.
4. Киричек А.В., Морозова А.В. Формирование модели оценивания уровня сформированности компетенций специалиста машиностроительного профиля // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 2-3 (292). С. 127-133.
5. Гусева Т.В. и др. Вопросы стандартизации в образовательных программах // Компетентность. 2013. № 1. С. 9-13.

Information about the paper in English

R.V. Zalilov
Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia
E-mail: zalilov74@ya.ru
Received 14.12.2017

HOW TO HELP STUDENTS OF ENGINEERING COURSES BETTER ACQUIRE PRACTICAL SKILLS

Abstract

The author proposes an approach to practical training to help students better acquire practical skills of measurement, which are applicable in equipment monitoring and testing. This approach aims to help students learn to search for information, act independently, control themselves and do planning.

Keywords: education, method of measurement, measuring tools.

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению материалов представляемых для публикации

1. Материалы предоставляются в электронном виде, оформленные в программе MS Word 97-2003.
2. Объем представленных материалов должен быть не менее 6-ти страниц (в режиме оформления одной колонкой на листах формата А4), включая рисунки и таблицы.
3. Формат листа: А4 (210х297 мм).
4. Межстрочный интервал: одинарный.
5. Размер полей слева, справа и сверху страницы 18 мм, снизу 20 мм.
6. Нумерация страниц осуществляется внизу по центру страницы.
7. Шрифт текста: Times New Roman, размер 12 пт.
8. Отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 10 мм.
9. Формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается, размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов.
10. Рисунки должны быть вставлены в текст и обязательно представлены в виде отдельного файла в формате jpeg, tiff, bmp с разрешением не менее 300 dpi. Наличие подписуточной надписи обязательно.
11. Не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу.
12. Структура текста.
 - 12.1. Индекс УДК.
 - 12.2. Имя, отчество и фамилия авторов, жирный шрифт – Times New Roman, размер – 12 пт.
 - 12.3. Наименование организации.
 - 12.4. Город, страна.
 - 12.5. Контактный адрес электронной почты (E-mail).
 - 12.6. Название (должно быть набрано прописными буквами не в режиме CAPS LOCK (SHIFT)).
 - 12.7. Аннотация.
 - 12.8. Ключевые слова.
 - 12.9. Введение.
 - 12.10. Основная часть.
 - 12.11. Заключение (Выводы).
 - 12.12. Библиографический список.
13. Библиографический список составляется в последовательности ссылок в тексте. В тексте статьи ссылки на литературный источник заключаются в квадратные скобки. Библиографическое описание регламентировано ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Материалы для публикации направлять по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова, кафедра «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования».

Контактные телефоны: (3519) 29-85-07, 29-84-51.

E-mail: momz-magtu@yandex.ru, momz-magtu@mail.ru с указанием темы электронного письма «Журнал МОМЗ».

Сайт журнала: www.momz.magtu.ru

Контактное лицо, отв. редактор к.т.н. Слободянский Михаил Геннадьевич.