

ПРОЧНОСТЬ ВАЛОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

Металлургические машины отличаются большим разнообразием приводов и валов, передающих крутящие моменты к исполнительным органам. Это жесткие и упругие валы с различной формой поперечного сечения, компенсирующие валы (универсальные шпиндели), демпфирующие энергоемкие валы-аккумуляторы, предохранительные шпиндели, а также брусья, которые функционально валами не являются, но нагружены крутящим моментом паразитного происхождения.

Все эти конструкции, как правило, нагружены как полезной, так и паразитной нагрузкой высокого уровня, поэтому долговечность их невелика. Поломки различных валов встречаются довольно часто, а некоторые из поломок (например, для предохранительных шпинделей) запланированы [1].

Ниже рассмотрены группы валов, к которым предъявляются специфические требования, анализируются проблемы их прочности, методы оценки этой прочности и ее повышения.

Начнем с наиболее распространенных в приводах прокатных станов валов - универсальных шпинделей и трфевых соединений.

Трфевые соединения, состоящие из трфевых концов шпинделей и трфевых муфт, повсеместно выходят из употребления, однако на некоторых станах еще работают. Так, на ММК им. Ильича в приводах пилигримовых станов 6-12" и листового стана 4500 применяются трех-, четырех- и пятирожковые трфевые шпиндели и соответствующие им цилиндрические муфты. По общепринятым расчетным схемам эти объекты считаются некруглыми валами с поперечными сечениями в виде одно- и двухсвязных областей.

Поломки подобных валов (с выкружками) от касательных напряжений крайне редки, так как эти валы изготавливают, как правило, из пластичных материалов. Пластическое скручивание трфевых концов шпинделей наблюдается чаще (остаточные деформации при этом невелики – от 1,0 до 5,0°) [2].

Несмотря на то, что трфевые муфты являются более простыми и дешевыми деталями, они выдерживают большие крутящие моменты. Расчеты показывают, что для обеспечения равнопрочное™ трфевых муфт с соответствующими валами нужно уменьшить толщину их стенок в 1,5...2,0 раза. Известны попытки использования трфевых муфт в качестве предохранительных деталей, причем в этом есть определенный смысл. Так, например, предохранительная деталь в приводе пилигримового стана (брехшпинделя) весит и стоит в 10 раз больше, чем трфевая муфта, которая к тому же может защитить от поломки индивидуально каждый из шпинделей.

При использовании трфевой муфты в качестве предохранительной ее разрушение происходит от распорных усилий, при этом муфта распадается на отдельные части. Впрочем, для этой предохранительной детали трудно обеспечить стабильность величины выключающего момента - литой материал, грубая обработка, концентрация напряжений резко снижают усталостную прочность этих муфт.

Элементы некруглых валов (хотя и не названные трфевыми или бесшпоночными соединениями) встречаются в приводах прокатных станов довольно часто. Это приводные концы валков, шестеренных валков, соединенных соответствующими муфтами. В отличие от трфевых соединений, эти соединения не имеют больших зазоров для обеспечения нормальной работы валов при перекосах. Кроме того, подобные «валы» принято считать короткими.

Выход из строя подобных соединений происходит чаще всего из-за пластических контактных деформаций, то есть из-за «разбивания» соединения. Кстати, для деталей трфевых соединений такая форма «разрушения» также наиболее характерна. Встречаются и другие виды разрушения - от касательных напряжений при кручении. Так, для приводного конца шестеренного валка стана 4500, имеющего сечение в

виде круга с двумя пазами под тангенциальные шпонки, известны два случая поломок с тяжелыми последствиями. Сочетание высокой концентрации напряжений с высокопрочным (и малопластичным) материалом оказалось роковым для данной детали [3].

Особо отметим, что применение высокопрочных и малопластичных материалов для валов, имеющих резкие изменения формы (концентраторы напряжений), следует считать совершенно недопустимым. В этом случае высокие градиенты напряжений остаются неизменными вплоть до разрушения, в то время как для пластичных материалов при той же невыгодной форме поперечного сечения наблюдается существенное перераспределение (выравнивание) напряжений.

В практике эксплуатации прокатного оборудования известны случаи, когда пришлось в массовом порядке менять форму поперечного сечения валов. Один из таких случаев связан с пуском и освоением НШС-1700 ММК им. Ильича. В первый год эксплуатации стана были разрушены 120 приводных концов рабочих валков, имеющих поперечное сечение в виде круга с двумя трапециевидными вырезами (концентраторами напряжений). Материал валка (высокопрочный, но хрупкий) изменить было нельзя, так как он был связан с технологией прокатки и качеством получаемого листа. Поэтому было принято решение изменить форму поперечного сечения [4].

В настоящее время эта форма представляет собой круг с двумя лысками, то есть форму, не имеющую концентраторов напряжений. После этого количество поломок приводных концов валков уменьшилось до 10... 12 поломок в год.

Универсальные шпиндели установлены практически на всех современных прокатных станах, включая обжимные, толстолистовые и тонколистовые, прошивные, сортовые, проволочные и т.д.

Вариантами универсальных шпинделей являются шпиндели на телах качения, на шарнирах Гука в виде подшипниковых узлов (с подшипниками качения или скольжения), с бронзовыми вкладышами в виде полуцилиндров или полушаров [5]. Шпиндели с телами качения имеют невысокую прочность, связанную с большими расклинивающими силами и высокими контактными напряжениями. Прочность шпинделей с подшипниками качения ограничена прочностью этих подшипников. Как правило, головки таких шпинделей имеют большие габариты, и их применение ограничено.

Наиболее распространенный вариант универсального шпинделя - это шпиндель с бронзовыми вкладышами в виде полушаров и полуцилиндров. Полушары применяют редко - например, в муфте «Дэви» из привода пильгерстана 6-12". Полуцилиндры встречаются гораздо чаще - например, на слябинге 1150, НШС-1700 для всех клетей, на блюминге, толстолистовых станах 3000 и 3600, и т.д.

Большинство проблем, связанных с работой этих шпинделей, относятся к повышенным износам вкладышей, нарастаниям зазоров, их выборке и дальнейшему напруге [6].

Развитие конструкции этих шпинделей предусматривает автоматический выбор зазоров, применение новых материалов для вкладышей. Однако вопрос повышения надежности работы вкладышей нельзя считать решенным.

Некоторые из универсальных шпинделей выполнены составными с головками, посаженными на горячо на тело шпинделя. При этом имеются случаи разрушения головок. По характеру этого разрушения можно сделать вывод о чрезмерном натяге и разрушении от внутренних растягивающих усилий. Перспективной составной конструкцией может быть такая, в которой головка и тело шпинделя соединены слоем полимера (клея-расплава). В этом случае шпиндель может выполнять роль предохранительного звена [7]. Полимерные материалы могут применяться и взамен бронзовых. Для этого нужно снизить динамические нагрузки в приводах прокатных станов. Материал вкладышей может быть создан на основе полиамидов с упрочняющими и антифрикционными добавками (например, стеклоармированный полиамид с дисульфидом молибдена). Такой материал может длительное время работать без смазки. Продолжаются работы и по созданию нового типа универсального шпинделя, в котором

пары внешнего трения будут заменены упругими шарнирами на основе эластомеров. В такой конструкции не будет трения скольжения и интенсивного износа.

Следует упомянуть и о валах муфт МЗП - валах, установленных в приводах станинных роликов и роликов рольгангов. Как правило, это круглые валы без ослаблений (иногда со шпоночной канавкой или шлицами). Чаще всего эти валы имеют повышенную прочность и жесткость, излишний вес и, как следствие, вызывают в приводе высокий уровень паразитных нагрузок. Масса таких валов может быть существенно уменьшена.

Если их выполнить пустотелыми (из стандартных толстостенных труб), то они окажутся, по крайней мере, в два раза легче, что соответственно снизит нагрузки во всех деталях привода. Одновременно упрощается соединение таких валов со съемными головками. Для некоторых меткомбинатов (например, для ММК им. Ильича), имеющих собственное трубное производство, применение пустотелых валов даст существенный экономический эффект.

Особое место в приводах металлургических машин принадлежит упругим валам (или энергоаккумуляторам). Принцип действия вала-энергоаккумулятора такой же, как у буферного устройства для гашения энергии удара [8].

Осциллографирование нагрузок в главных линиях прокатных станов показывает наличие удара в момент захвата заготовки валками. Это приводит к трех-, и даже пятикратному кратковременному увеличению нагрузок (моментов), необходимых по условиям технологии. Вал-энергоаккумулятор может (при достаточной энергоемкости) снизить эти нагрузки. Проблема заключается в создании такого вала для прокатных станов. Трудности носят чисто технический характер [9]. Такие валы, предназначенные прежде всего для листовых станов с высокой динамичностью, могут быть созданы на основе энергоемких полиуретановых эластомеров [10]. Эти валы в значительной мере облегчат защиту приводов прокатных станов от поломок.

Следует сказать несколько слов и о предохранительных валах (предохранительных шпинделях, брехшпинделях), которые должны разрушаться при перегрузках. Такие шпиндели сохранились и работают удовлетворительно на некоторых высокодинамичных станах, например, на пилигримовых станах. Эффективность работы этих валов зависит от точности срабатывания и от цены защиты [7].

По этим параметрам работающие брехшпиндели требуют существенной доработки. Прежде всего, требуется ликвидация концентраторов напряжений и выделение, как отдельной детали, дешевого разрушаемого элемента. Перспективными следует считать и конструкции предохранительных шпинделей с разрушающимся полимерным слоем [П].

Перечень ссылок

1. *Артюх Г. В.* Уменьшение вредных нагрузок в металлургических машинах // Теория и практика металлургии. -2002. - Вып.6. - С.48-57.
2. *Артюх М. Г.* Оценка применимости расчета по предельному равновесию к реальным некруглым валам // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 1997.-Вып.2.-С.242-248.
3. Несущая способность валов с пазами под тангенциальные шпонки / *Артюх Г. В., Мазай В. Э., Сушев В. В.* // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 1997. - Вып.2. - С.219-222.
4. К вопросу защиты от поломок непрерывных широкополосных станов / *Артюх Г. В., Артюх В. Г., Артюх В. С.* // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 1997. - Вып.2. - С.58-68.
5. *Комаров А. Н.* Шпиндели прокатных станов // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 1999. - Вып.4. - С.176-185.

6. *Большаков В. И., Поздняков В. П.* Особенности эксплуатации оборудования главных линий черновых клетей стана 1680 горячей прокатки // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 1999. - Вып.4. - С. 15-24.
 7. *Артюх Г. В., Артюх В. Г.* Совершенствование предохранительных шпинделей // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 2000. - Вып.5. - С.85-90.
 8. *Артюх Г. В.* Особенности применения эластомеров для снижения динамических нагрузок в металлургических машинах // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 1997.-Вып.2.-С.155-158.
 9. *Артюх Г. В.* Энергоемкость полиуретановых амортизаторов // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 1999. - Вып.4. - С. 166-172.
 10. *Артюх Г. В.* К вопросу выбора конструкции энергоаккумулятора // Защита металлургических машин от поломок. - Мариуполь, 2000. - Вып.5. - С.142-145.
- И. Пат. 67090 Україна, МКВ В 21 В 33/00. Запобіжний шпindel приво́ду прокатної клі́ти / *Артюх Г. В., Артюх В. Г., Токарев Р. А., Карлушин С. Ю.* (Украина) // №2003076363.- Заявлено 08.07.2003; Опубл. 15.06.2004.- Бюл. №6.- Зс.

Статья поступила 14.06.2005.