

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ РАМ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ РЕДУКТОРА И ДРУГОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Д.А. Молошкин

dmitriimoloshkin@gmail.com

SPIN-код: 2142-6638

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

### Аннотация

Исследована задача закрепления привода на неподвижном основании. Рассмотрены основные преимущества и недостатки плит и рам, проанализированы возможные пути повышения жесткости базовых деталей и снижения их металлоемкости. Выявлено, что в настоящее время наиболее перспективным вариантом в мелкосерийном производстве является использование профильных труб квадратного/прямоугольного сечения в качестве несущих элементов сварных рам, поскольку такой материал намного легче традиционных горячекатаных профилей, достаточно прочен, экономичен, удобен при перевозке и хранении, обеспечивает легкость сборки. Предложены варианты увеличения жесткости сварных рам, получаемых из такого профиля. Однако данная проблема недостаточно изучена и требует дальнейших исследований.

### Ключевые слова

Базовые детали, литая плита, сварная рама, швеллер, повышение жесткости, профильные трубы, единичное производство, металлоемкость

Поступила в редакцию 24.01.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

**Базовые детали: плиты, рамы.** Привод — устройство, которое служит для приведения в движение рабочего органа машины или механизма. Важными изделиями в конструкции приводов являются базовые детали, предназначенные для установки на них двигателей, редукторов и других агрегатов и обеспечивающие требуемое взаимное расположение изделий с необходимыми требованиями к точности их установки [1]. Базовые детали являются координирующими элементами конструкций приводов, обеспечивают требуемую компоновку. К таким деталям относят плиты, выполняемые из стального или чугуна литья, и рамы, свариваемые из профильного стального проката.

Плиты (рис. 1) в основном применяются при массовом и среднесерийном производстве. Плита является одной крупной литой деталью. Материал отливки — обычно серый чугун марок СЧ10, СЧ12 и СЧ15 ГОСТ 1412–85. Такой выбор объясняется хорошими литейными свойствами чугуна, его относительно низкой стоимостью, хорошей

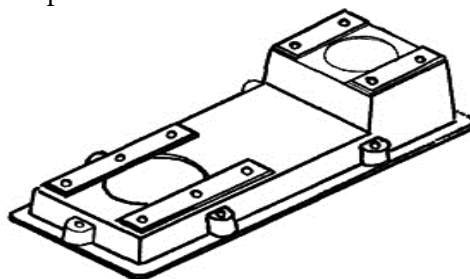


Рис. 1. Литая плита

обрабатываемостью, высокой износостойкостью, приемлемой жесткостью. Сталь используется гораздо реже, что объясняется ее малой жидкотекучестью, склонностью к образованию пузырей, большой усадкой, что приводит к значительному короблению, образованию раковин и трещин [2].

В современных машинах в качестве базовых деталей несущих конструкций нашли широкое распространение сварные базовые детали коробчатой формы, которые менее трудоемки в производстве и значительно легче литых. Конструкция сварных рам (рис. 2) в большей степени определяется ее назначением и технологическими возможностями предприятия-изготовителя.

Сварные конструкции могут состоять из нескольких десятков деталей. Они могут значительно отличаться по конфигурации и по массе. Сварные рамы обычно изготавливают из сортового проката стали марок Ст3, Ст4 или Ст5 толщиной 8...12 мм.

В качестве несущих элементов конструкций рам могут использоваться как готовые балки (трубы, швеллеры, гнутые профили и т. д.), соединяемые между собой сваркой и образующие стержневую систему определенной формы, так и балки, изготовленные сваркой из проката более простых форм (уголки, листы) [3]. Такие балки в сечении обычно имеют конструкцию коробчатой формы.

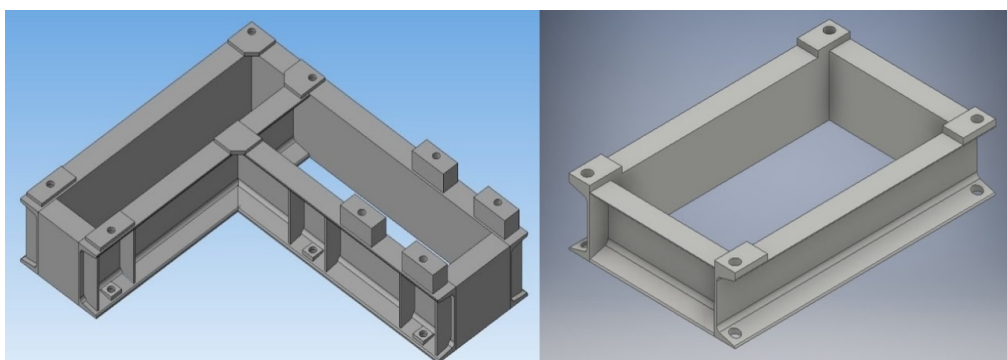


Рис. 2. Сварные рамы

**Требования, предъявляемые к базовым деталям.** Существуют несколько требований, предъявляемых к таким конструкциям. В процессе эксплуатации плиты и рамы испытывают нагрузки от сил тяжести, сил взаимодействия сборочных единиц при выполнении рабочих движений при поступательном перемещении и создаваемых ими моментов при вращательных движениях. Поэтому основным критерием является жесткость конструкции. Повышенные упругие перемещения, которые возникают в фундаментных плитах (рамах), при недостаточной жесткости приводят к неправильной работе машин и механизмов, снижению точности работы привода и способствуют возникновению колебаний [4].

Другим важным требованием является малая металлоемкость базовых деталей. Это необходимо в целях экономии металла (снижения себестоимости изготовления) и уменьшения массы базовых деталей, поскольку, например, масса фундаментных плит составляет до 60 % массы всей установки.

Кроме того, плиты и рамы, как и все другие изделия, должны быть надежными, экономичными, максимально простыми по конструкции, иметь рационально выбранные габаритные размеры и небольшую занимаемую площадь.

**Реализация этих требований в плитах и рамах.** Снижение металлоемкости в конструкциях литых плит обеспечивается, как правило, технологическими окнами и проемами. Из-за образования пористостей и раковин при литье плит крайне нежелательно иметь большие горизонтально расположенные поверхности. Поэтому в горизонтальной стенке плиты следует делать большие окна. Это улучшает качество отливки и экономит металл.

В сварных конструкциях это достигается применением облегченных профилей (например, облегченных швеллеров) или использованием алюминиевых сплавов. В настоящее время перспективно применение комбинированных сварно-литых и штампосварных конструкций, так как при этом снижается масса, экономится металл и упрощается обработка.

Жесткость литых плит повышают применением ребер жесткости, перегородок, приливов.

Для восстановления утраченной прочности и жесткости плит, которые вызваны применением технологических окон и отверстий, их окаймляют невысокими контурными ребрами.

Плиту крепят к полу фундаментными болтами, которые размещают на приливах. Чтобы приливы были прочными и жесткими, их делают высокими.

Жесткость сварных рам повышают привариванием косынок. Жесткость рам на высоких стойках увеличивают привариванием уголков непосредственно к стойкам внахлестку или враспор, а также посредством раскосов на косынках [5].

Также для увеличения жесткости рамы верхние и нижние полки швеллеров в местах установки фундаментных болтов связывают трубами, уголками или ребрами (рис. 3). При таких конструкциях рама воспринимает внешние нагрузки всей высотой основания, а не по отдельности нижними и верхними полками, жесткость которых бывает недостаточной. Также к нижним полкам швеллера в местах установки болтов приваривают косые шайбы, которые выравнивают поверхность под крепеж и защищают место соединения от повреждения.

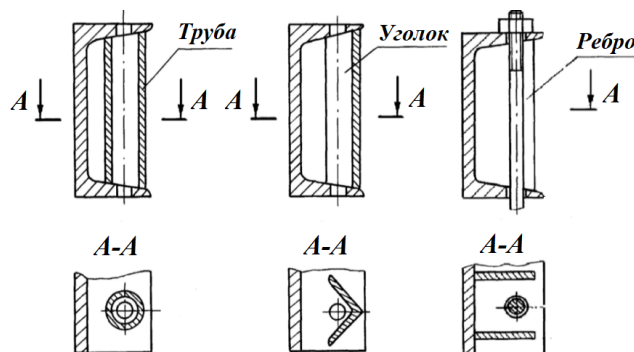


Рис. 3. Варианты увеличения жесткости рам в местах крепления к фундаменту

**Сварные рамы из профильных труб.** Большое распространение в последние годы в качестве основных несущих элементов сварных рам получили трубы стальные прямоугольные и квадратные (рис. 4). Основные преимущества использования профильных труб:

- более высокая экономичность по сравнению со швеллерами или уголками;
- высокие прочностные показатели;
- удобство при перевозке и хранении;
- легкость сборки (объясняется это тем, что плоские поверхности таких труб удобны для соединения сваркой труб между собой и размещения на указанных поверхностях всех элементов машины);
- стойкость к деформации и изменениям температурного режима;
- приемлемая стоимость (профильная труба не требует больших затрат на изготовление, поэтому цены на этот вид проката остаются достаточно низкими).

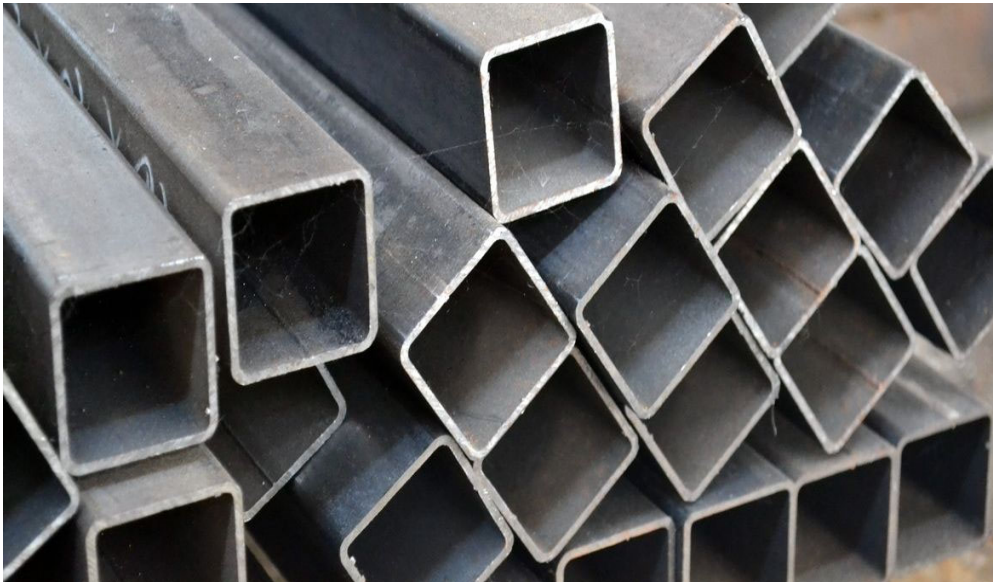


Рис. 4. Профильная труба

Применение профильных труб дает возможность существенно сократить металлоемкость при изготовлении базовых деталей.

Профильная труба может заменить собой металлический брусок и при этом иметь все показатели прочности и жесткости, поскольку основная нагрузка при изгибе бруска приходится на крайние участки. Таким образом, его сердцевина не подвергается большим нагрузкам. Эта особенность и позволяет использовать профильную трубу [6]. Это дает возможность экономить на металле, экономия материала составляет при этом до 30 % по сравнению с рамами, изготовленными из сплошного проката.

Жесткость конструкций из профильной трубы можно повысить привариванием поперечин (рис. 5) и косынок (рис. 6).



Рис. 5. Поперечины в сварных рамах

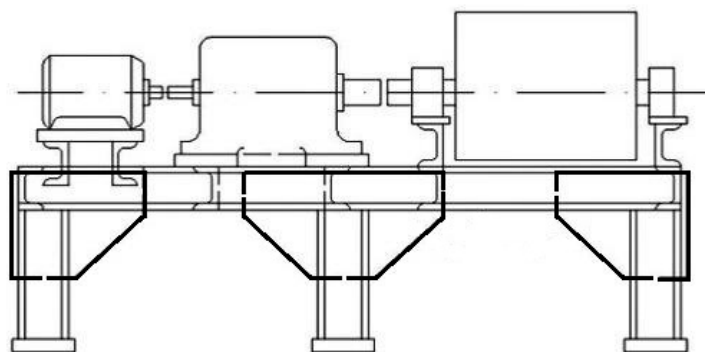


Рис. 6. Косынки в сварных рамах

Жесткость рамы, подвергающейся воздействию сдвигающих сил  $P$  (рис. 7, *а*) можно повысить введением диагональных связей (раскосов растяжения (рис. 7, *б*) и сжатия (рис. 7, *в*), при этом жесткость системы возрастает. Если нагрузка действует попеременно в обоих направлениях, то применяют раскосы перекрестные или чередующегося направления (рис. 7, *г* и *д*) [7].

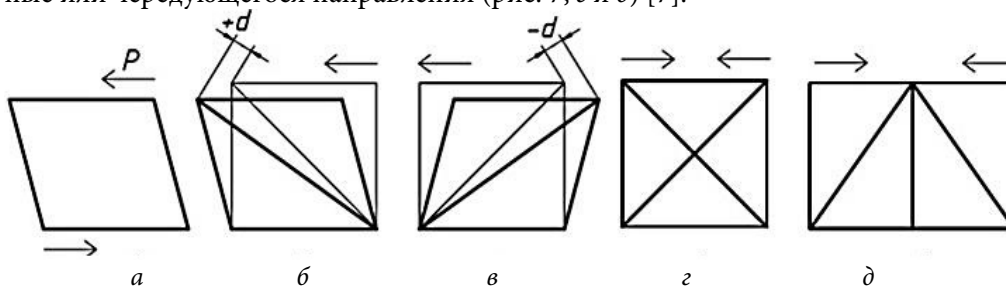


Рис. 7. Увеличение жесткости рамы введением раскосов

**Обоснованный выбор базовой детали.** Литые плиты обычно используют в массовом и серийном производстве, так как только в этом случае их применение экономически целесообразно. При единичном производстве используют

сварные рамы. Их преимуществом перед плитами является то, что они легче и дешевле, поскольку в этом случае не требуется изготавливать дорогостоящие модели и стержневые ящики, а сварочное оборудование имеется на каждом предприятии. Исходя из тенденции современного машиностроения — максимальный учет требований каждого отдельного заказчика в каждой единице производимой продукции, — проектируемый привод в целом следует рассматривать как продукт мелкосерийного производства [8]. По этой причине использование сварных рамных конструкций будет целесообразнее применения литых плит.

Также одной из задач современного машиностроения является уменьшение общей массы конструкции без заметной потери прочности и жесткости. Использование профильных труб в качестве несущих элементов сварных рам позволяет существенно облегчить конструкцию и обеспечивает высокие показатели прочности, достигаемые благодаря наличию ребер жесткости и замкнутому профилю их поперечного сечения, который обеспечивает одновременно как изгибную, так и крутильную жесткость всей конструкции [9].

В настоящее время в машиностроении активно применяют мотор-редукторы из-за их небольшой относительной массы и компактности. Корпус мотор-редуктора зачастую неразъемный, причем каждая из его сторон может использоваться как опорно-присоединительная. Это позволяет редуктору занимать практически любое пространственное положение в приводах [10]. Поэтому в данном случае применение профильных труб будет предпочтительнее использования традиционных профилей.

Таким образом, наилучшим вариантом в условиях единичного производства будет использование труб прямоугольного или квадратного профиля в качестве несущих элементов сварных рам. Однако нельзя не заметить, что при кажущейся многоаспектности и обширности исследований еще недостаточно изучены возможности повышения жесткости данного профиля, в частности, требует дополнительного рассмотрения повышение жесткости такой конструкции в местах крепления к фундаменту. Также существуют определенные ограничения, связанные с использованием сварных рам из профильных труб. Таким образом, данная проблема требует дальнейших исследований.

## Литература

- [1] Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. М., Изд. центр Академия, 2008.
- [2] Гоголина И.В., Сорочкин М.С. Проектирование сварных рам и литых плит приводов. Кемерово, КемГИПП, 2010.
- [3] Энциклопедия по машиностроению XXL. *mash-xxl.info*: веб-сайт. URL: <http://mash-xxl.info/info/420020/> (дата обращения: 23.11.2018).
- [4] Рабданова Н.М., Балбаров В.С. Рамы и плиты. Улан-Удэ, ВСГУ, 2010.
- [5] Пронин В.А., Цыганков А.В., Шляховецкий Д.В. Основы проектирования рамных конструкций. СПб., СПбГУНиПТ, 2008.
- [6] МЕТАЛЛ-СК: веб-сайт. URL: <http://www.metallsk.ru/> (дата обращения: 06.12.2018).

- [7] Конструктивные способы повышения жесткости. *inzhener-info.ru*: веб-сайт.  
URL: <http://inzhener-info.ru/razdely/konstruirovanie/zhestkost-konstruktsij/konstruktivnye-sposoby-povysheniya-zhestkosti.html>/ (дата обращения: 02.12.2018).
- [8] Ряховский О.А., ред. Детали машин. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- [9] Гудков В.В. К вопросу о проектировании сварных рам. *Инженерный вестник*, 2016, № 2. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/833866.html>
- [10] Гудков В.В. Анализ технических заданий на курсовой проект «Основы конструирования машин» в МГТУ им. Н.Э. Баумана. *Инженерный вестник*, 2015, № 5. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/771423.html>

**Молошкин Дмитрий Алексеевич** — студент кафедры «Детали машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Гудков Виктор Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Детали машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

## FEATURES OF THE FRAME STRUCTURES FOR FASTENING GEAR AND OTHER INDUSTRIAL EQUIPMENT

D.A. Moloshkin

dmitriimoloshkin@gmail.com

SPIN-code: 2142-6638

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

*The task of fixing the drive unit on a motionless base is investigated. The main advantages and disadvantages of plates and frames are considered, possible ways of increasing the rigidity of basic parts and reducing their metal consumption are analyzed. It has been revealed that at present the most promising option in small-batch production is the use of square rectangular section pipes as bearing elements of welded frames, since this material is much lighter than traditional hot-rolled profiles, is rather strong, economical, convenient for transportation and storage, and provides ease of assembly. Options have been proposed for increasing the rigidity of welded frames obtained from such a profile. However, this problem is not well understood and requires further research.*

**Keywords**

*Basic parts, cast plate, welded frame, channel, stiffness increase, profile pipes, unit production, metal intensity*

Received 24.01.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

**References**

- [1] Dunaev P.F., Lelikov O.P. Konstruirovaniye uzlov i detaley mashin [Designing parts and components of machines]. Moscow, Akademiya Publ., 2008 (in Russ.).
- [2] Gogolina I.V., Sorochkin M.S. Proektirovaniye svarnykh ram i litykh plit privodov [Designing welded frames and base casing of the drives]. Kemerovo, KemTIPP Publ., 2010 (in Russ.).
- [3] Entsiklopediya po mashinostroeniyyu XXL [XXL machine building encyclopedia]. *mash-xxl.info*: website (in Russ.). URL: <http://mash-xxl.info/info/420020/> (accessed: 23.11.2018).
- [4] Rabdanova N.M., Balbarov V.S. Ramy i plity [Frames and casings]. Ulan-Ude, VSGTU Publ., 2010 (in Russ.).
- [5] Pronin V.A., Tsygankov A.V., Shlyakhovetskiy D.V. Osnovy proektirovaniya ramnykh konstruksiy [Fundamentals of frame constructions designing]. Sankt-Petersburg, SPbGUNIPT Publ., 2008 (in Russ.).
- [6] METALL-SK: website (in Russ.). URL: <http://www.metallsk.ru/> (accessed: 06.12.2018).
- [7] Konstruktivnye sposoby povysheniya zhestkosti [Construction methods for improving stiffening]. *inzhener-info.ru*: website (in Russ.). URL: <http://inzhener-info.ru/razdely/konstruirovaniye/zhestkost-konstruksij/konstruktivnye-sposoby-povysheniya-zhestkosti.html/> (accessed: 02.12.2018).
- [8] Ryakhovskiy O.A., ed. Detali mashin [Parts of the machines]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014 (in Russ.).
- [9] Gudkov V.V. On problem of welded frames engineering. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2016, no. 2. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/833866.html> (in Russ.).
- [10] Gudkov V.V. Analysis of technical problems for “Fundamentals of machine engineering” term project in Bauman MSTU. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2015, no. 5. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/771423.html> (in Russ.).



**Moloshkin D.A.** — Student, Department of Machinery parts, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific adviser** — V.V. Gudkov, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Machinery parts, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.