

**ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК
КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ****Р. О. Кирьянов***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Проведен сравнительный анализ семи методов изготовления заготовок корпусов редукторов: литье в ПГС, ХТС, кокиль, под давлением, по выплавляемым моделям, сварные и сварно-литые корпуса. Для каждого метода определены технические, экономические и производственные параметры. На основе полученных данных сформулированы рекомендации по выбору оптимального метода производства заготовок в зависимости от объема производства, требуемой точности и сложности геометрии корпуса редуктора.

Ключевые слова: корпус, редуктор, заготовка, литье, сварка, оснастка.

Литье является наиболее распространенным методом получения заготовок корпусов редукторов, особенно в серийном и массовом производстве, что обусловлено сложной пространственной формой, наличием внутренних полостей, бобышек и ребер жесткости. Существует несколько видов литья [7, с. 4–5].

Литье в песчано-глинистые смеси (ПГС) – традиционный метод, основанный на использовании разовых форм из песчано-глинистой смеси [2, с. 10]. Позволяет получать отливки любых размеров из любых сплавов. Формы могут изготавливаться вручную или на автоматических линиях. Метод имеет низкую точность и грубую поверхность, требует больших припусков на обработку и имеет высокий процент брака [1, с. 5–8].

Литье в холодно-твердеющие смеси (ХТС) – усовершенствованный метод, где используются синтетические смолы, отверждаемые газообразным катализатором. Формы не требуют нагрева. Метод обеспечивает более высокую точность и чистоту поверхности, чем ПГС, но требует более дорогих материалов и специального оборудования [5, с. 34–36].

Литье в кокиль (металлические формы) – расплав заливается в многократно используемую металлическую форму из чугуна или стали. Быстрое охлаждение дает плотную структуру и высокие механические свойства [2, с. 28]. Метод применяется в основном для цветных сплавов. Кокили дороги в изготовлении, но выдерживают тысячи циклов [6, с. 12–14].

Литье под давлением (ЛПД) – расплав под высоким давлением впрыскивается в стальную пресс-форму. Самый производительный метод, применяется только для цветных сплавов. Обеспечивает высокую точность, тонкие стенки и минимальную механическую обработку [5, с. 48–50]. Требуется огромных затрат на оснастку и окупается только при массовом производстве.

Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ) – для каждой отливки изготавливается разовая восковая или полимерная модель, покрываемая керамической оболочкой. После выплавления модели в форму заливается металл. Метод очень трудоемкий и дорогой, но дает наивысшую точность и чистоту поверхности [5, с. 52–54].

Сварные корпуса из проката – изготавливаются сборкой и сваркой элементов из листового или фасонного проката. Технология не требует литейной оснастки, позволяет быстро получить корпус любых размеров. Применяется в единичном и мел-

косерийном производстве. Требует высокой квалификации сварщиков и обязательной механической обработки ответственных поверхностей [6, с. 18–20].

Сварно-литые корпуса – комбинированный метод, где нагруженные элементы выполняются литьем, а стенки и ребра – из проката, после чего все сваривается в единую конструкцию. Метод применяется для крупногабаритных, тяжело-нагруженных или уникальных редукторов. Сочетает прочность литья в ответственных зонах и экономичность проката в остальных.

Параметры технико-экономического обоснования
(составлена автором на основе данных [1], [2], [5])

Параметр	Литье в ПГС (песок)	Литье в ХТС	Литье в кокиль	Литье под давлением	Литье по выплав- ленным моделям (ЛВМ)	Сварной (прокат)	Сварно- литой
Стоимость оснаст- ки, BYN	1 600– 6 400	9 600– 32 000	16000–64 000	64 000– 320 000	32 000– 96 000	640–3 200	9600– 25 600
Срок изготовления оснастки	1–4 недели	3–6 недель	1–3 месяца	2–6 месяцев	1–3 месяца	1–3 дня	2–4 недели
Трудоемкость, чел.ч/т	10–30	20–40	30–50	5–15	100–200	50–100	40–70
Энергопотребление, кВт · ч/т	300–500	350–550	200–400	600–1000	800–1500	150–300	250–450
Коэффициент использования металла КИМ, %	40–60	60–75	70–85	85–95	85–95	50–70	65–80
Типичный брак, %	5–12	2–5	3–8	2–10	1–5	1–3	2–6
Точность, квалитет IT	14–16	12–14	11–13	10–12	10–12	14–16 (до обра- ботки)	12–14
Шероховатость Ra, мкм	50–320	20–80	6,3–20	1,6–6,3	1,6–6,3	10–40	6,3–40
Припуски на обра- ботку, мм	3–8	2–5	1,5–4	0,5–1,5	0,3–1,0	3–6	2–5
Минимальная тол- щина стенки, мм	3–5	3–4	2,5–5	0,8–1,5	0,5–2	4–6	3–5
Сложность геометрии	Высокая	Высокая	Средняя	Очень высокая	Макси- мальная	Ограни- чена	Высокая
Время на первую деталь	1–1,5 месяца	1,5–2 месяца	2–4 месяца	4–8 месяцев	3–5 месяцев	2–5 дней	1–1,5 месяца
Время цикла в серии	10–30 мин	15–40 мин	5–20 мин	0,5–5 мин	3–10 дней	4–8 ч	8–24 ч

Анализ основных экономических параметров (см. таблицу) показывает, что сварка требует минимальных вложений в оснастку, что делает ее наиболее целесообразным выбором для единичного и мелкосерийного производства [3, с. 6], тогда как литье под давлением, напротив, предполагает огромные инвестиции, которые окупаются только при массовом производстве [5, с. 49].

Если рассматривать качество поверхности и точность, то наивысшие показатели по этим критериям обеспечивают литье под давлением и литье по выплавляемым моделям, в то время как литье в песчано-глинистые формы дает самую грубую поверхность, требующую значительной механической обработки [1, с. 12–15].

Что касается технологических параметров, то наиболее тонкостенные и геометрически сложные корпуса можно получить методами литья под давлением и литья по выплавляемым моделям, тогда как сварка накладывает серьезные ограничения на геометрию изделия [6, с. 8]. Кроме того, наиболее эффективно материал используется именно при литье под давлением и литье по выплавляемым моделям, где до 95 % металла идет в дело, тогда как литье в песчано-глинистые формы дает наибольшие отходы – до 60 % металла уходит в стружку [2, с. 15].

Говоря о браке и сложности геометрии, следует отметить, что наиболее стабильное качество обеспечивают литье по выплавляемым моделям и литье в холодно-твердеющие смеси, тогда как наибольший риск брака, достигающий 12 %, характерен для литья в песчано-глинистые формы [5, с. 41].

Зависимость для определения сравнительного критерия технико-экономического обоснования:

$$k = \frac{\sum k_i p_i}{i},$$

где k_i – показатель значимости i -го параметра; p_i – параметр технико-экономического показателя [7, с. 8–9].

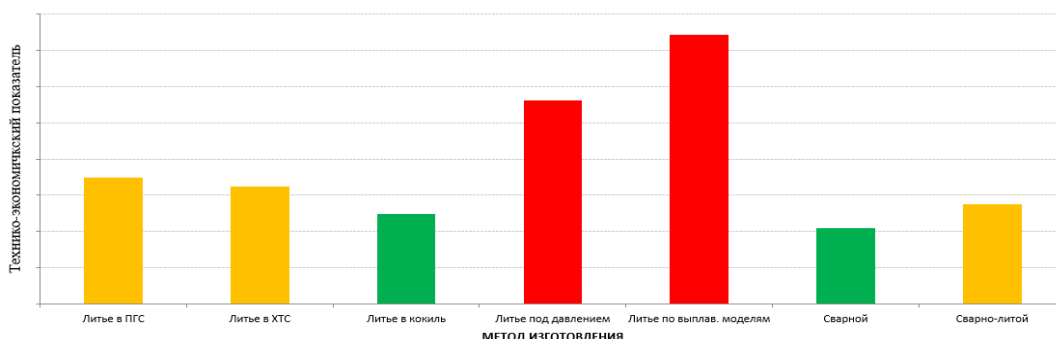


Рис. 1. Сравнение методов по средним значениям всех параметров

На основе анализа средних значений всех параметров (рис. 1) для семи методов изготовления корпусов редукторов можно сделать следующие выводы [3, с. 4].

Сварной корпус имеет самое низкое среднее значение, равное 41,3, что означает, что у него самые маленькие показатели по стоимости оснастки, трудоемкости, энергопотреблению и браку. Благодаря этому, он идеально подходит для единичного производства, однако заметно уступает другим методам по точности и сложности геометрии [6, с. 22].

Литье в кокиль со значением 50,9, сварно-литой метод с показателем 54,7, литье в холодно-твердеющие смеси, достигающее 64,7, и литье в песчано-глинистые формы с результатом 69,2 попадают в среднюю группу. Эти методы характеризуются умеренными затратами и приемлемым качеством, что делает их оптимальным выбором для серийного производства [2, с. 30–32].

Литье под давлением, среднее значение которого составляет 112,4, и литье по выплавляемым моделям с показателем 154,3 имеют самые высокие средние значения. Это самые дорогие и технологически сложные методы, однако именно они обеспечивают наилучшую точность, высокое качество поверхности и возможность получения деталей сложной геометрии [5, с. 55]. Их применение эффективно только в условиях массового производства.

Таким образом, прослеживается четкая закономерность: чем выше среднее значение, тем сложнее и дороже метод, но тем лучше качество и точность готового изделия. Окончательный выбор метода изготовления зависит от требуемого тиража и необходимых характеристик детали [1, с. 20].

Л и т е р а т у р а

1. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 36 с.
2. Пиляева, О. В. Литейное производство: метод. указания к выполнению лаборатор.-практ. работ / О. В. Пиляева. – Красноярск : КрасГАУ, 2020. – 46 с.
3. Технология изготовления корпусных деталей (на примере корпуса редуктора): лекция № 9. – URL: <https://studfile.net/preview/11273536/> (дата обращения: 16.04.2026).
4. Стасенко, Д. Л. Методика расчета героторного насоса с эпициклоидальным зацеплением / Д. Л. Стасенко, Д. В. Лаевский // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2011. – № 4. – С. 27–33.
5. Бондарева, О. П. Технология конструкционных материалов. Основы литейного производства : учеб. пособие / О. П. Бондарева, Э. В. Седов, И. Л. Гоник. – Волгоград : ВолгГТУ, 2022. – 66 с.
6. Конструирование корпусов механических передач: лекция № 26. – URL: <https://studfile.net/preview/12393191/> (дата обращения: 16.04.2026).
7. Якубович, Д. И. Технология материалов. Лабораторный практикум: Формообразование заготовок литьем / Д. И. Якубович, А. И. Хабибуллин, И. А. Лозиков. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – 71 с.

СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГИДРОСИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ МАШИН С LS-УПРАВЛЕНИЕМ

Д. А. Клевжиц, Ю. А. Андреевец

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Проведен анализ схмотехнических решений гидросистем мобильных машин с LS-управлением, направленных на повышение энергоэффективности и надежности гидроприводов за счет адаптации параметров рабочей жидкости к нагрузке. Использование данного подхода позволяет оптимизировать работу гидросистемы, снизить энергетические потери и повысить точность управления исполнительными механизмами.

Ключевые слова: LS-управление, гидросистема, адаптация к нагрузке, энергоэффективность.

Для безопасной эксплуатации машины, повышения производительности, совмещения и точности выполняемых операций в гидросистемах мобильных машин применяется LS-управление. Load Sensing (LS – *чувствительность к нагрузке*) – способ управления гидросистем, при котором давление нагрузки используется как сигнал обратной связи для регулирования давления насоса [1]. Гидросистемы с адап-