

Совершенствование конструкции сварных крестовин и технологии их изготовления



Е. П. Дудкин,
д. т. н., профессор, руководитель НОЦ «Промышленный и городской транспорт» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)



А. В. Колтаков,
к. т. н., доцент кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» ПГУПС



Н. Н. Султанов,
к. т. н., доцент кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» ПГУПС

В статье рассмотрены преимущества изготовления крестовин переводных стрелок на трамвайных путях методом сварки рельсовых профилей с механической обработкой. Предложена новая технология для фрезерования усовика. Приведены расчеты экономического эффекта.

В последние годы трамвай получает признание как экономичный и надежный вид массового пассажирского транспорта. Развитие трамвая идет по пути создания линий, позволяющих полностью реализовать динамические качества нового подвижного состава и обеспечить следование его с высокой скоростью. Трамвай — единственный вид наземного пассажирского транспорта, способный обеспечить в зонах плотной городской застройки необходимый объем перевозок при разумных затратах на инвестиции и эксплуатацию [1]. Однако нельзя забывать о мероприятиях, необходимых для повышения его конкурентоспособности и эффективности на рынке транспортных услуг, т. е. о снижении шума и вибрации в результате внедрения современных конструкций пути с применением шумо- и вибропоглощающих вкладышей [2, 3]. Кроме того, тре-

буется серьезная модернизация стрелочных переводов с целью повышения скорости движения и надежности работы. К важнейшим узлам стрелочного перевода относится крестовина.

Рассмотрим ряд конструктивных особенностей крестовины стрелочных переводов. Прежде всего, это желоб. При прохождении колеса по нему в пределах зоны перекатывания уменьшается площадь контакта колеса с рельсом, так как зона перекатывания колесо проходит на ребре. В результате увеличиваются контактные напряжения, износ металла на поверхности катания крестовины протекает более интенсивно.

В Санкт-Петербурге освоены две технологии изготовления трамвайных крестовин: методом литья из марганцовистой стали [4–6] и методом сварки рельсовых профилей [7, 8]. Трамвайная сеть Санкт-Петербурга отличается большим разнообразием пересечений, что приводит к необходимости изготовления нетиповой продукции, где в крестовинах постоянно меняется геометрия рабочего канта. При использовании метода литья необходимо создавать специальные формы в каждом конкретном случае, что увеличивает сроки и стоимость изготовления изделий. Кроме того, для отливки крестовин требуется литейный цех. В случае сварки проблемы с изготовлением форм и литейным производством исключаются.

Особенность изготовления сварных трамвайных крестовин заключается в предварительной механической обработке центральной части (сердечника) и усовиков до проектных размеров (рис. 1, 2). Поверхностная закалка поверхности катания желобов и сердечника позволяет существенно увеличить сроки службы крестовин (до сроков службы цельнолитых конструкций).

На следующем этапе выполняется сварка крестовины в соответствии

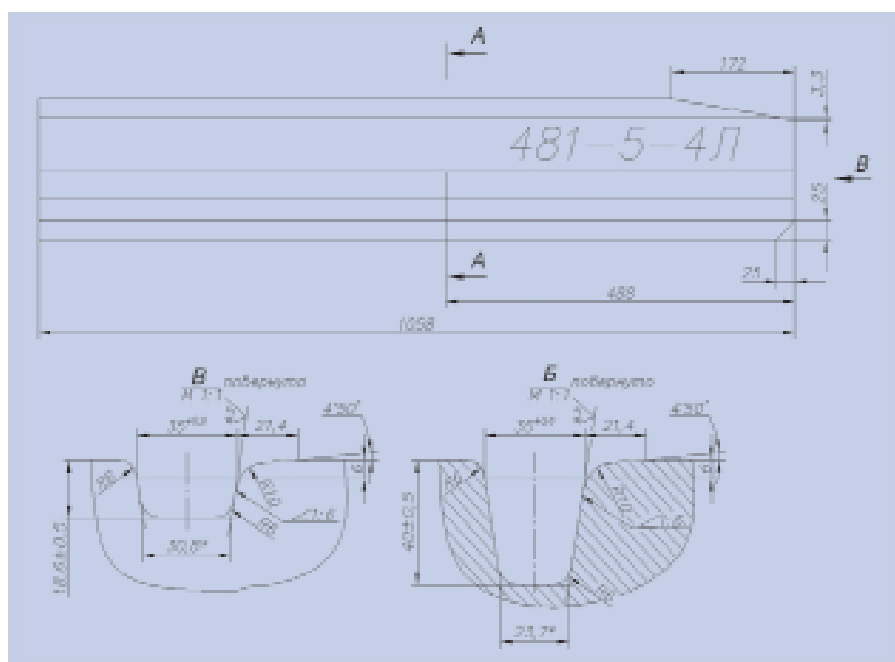


Рис. 1. Механическая обработка усовика из специального профиля

с конструкторской документацией (рис. 3).

На этом этапе необходимо обеспечить соответствие марок стали изготавливаемых деталей, предусмотреть технологические особенности сварки, сохранить заданную твердость поверхностей. Как показано на рис. 2, на сердечнике устраивается зона переката глубиной от 12 до 14 мм, выход на которую начинается с усовика, где глубина желоба составляет 41 мм. Переход осуществляется с уклоном 1/30 (по аналогии с литыми крестовинами), т. е. при разнице значений глубины желобов 29 мм (от 41 до 12 мм) длина зоны перехода составляет $29 \times 30 = 870$ мм. Указанная технология изготовления крестовин предусматривает применение таких профилей, где желоба нет, его формируют фрезерованием. Длина усовика составляет от 400 до 1500 мм, поэтому при формировании желоба на классическом фрезерном оборудовании в ряде случаев необходимо изменять углы наклона нижней поверхности желоба в двух местах:

- в первой точке перегиба — при переходе от горизонтального участка с желобом постоянной глубины 12 мм на наклонный участок, где глубина желоба меняется с 12 до 41 мм;
- во второй точке перегиба — при переходе от наклонного участка (глубина желоба меняется с 12 до 41 мм) на горизонтальный участок с постоянной глубиной желоба 41 мм.

Данная операция требует дополнительных перестановок усовиков на станке, что влечет за собой увеличение трудоемкости. Этот недостаток можно ликвидировать изменением плана и профиля крестовины (рис. 4) по ТУ 485942-001-01115840-2012 [6].

Варианты крестовины (в поперечном разрезе) до предложенных изменений (вариант 1) и после них (вариант 2) показаны на рис. 5. В новом варианте изменяются значения двух параметров, влияющих на безопасность движения и износ крестовины и гребня колеса: длины прохождения колеса по желобу на реборде и угла удара β . В варианте 2 длина прохождения колеса по желобу на реборде увеличится на 46,89 мм: $208 + 354 + 166 - 681,11 = 46,89$ мм, или на 7 % начальной длины. Такие изменения не влияют на безопасность движения, хотя и увеличивают вертикальный износ гребня при прохождении крестовины.

При движении колеса по крестовине (в вертикальной плоскости) точка контакта колеса с крестовиной смещается

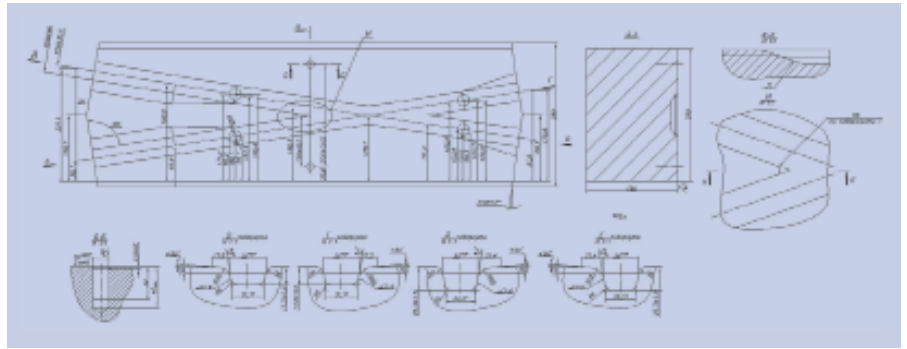


Рис. 2. Механическая обработка сердечника крестовины

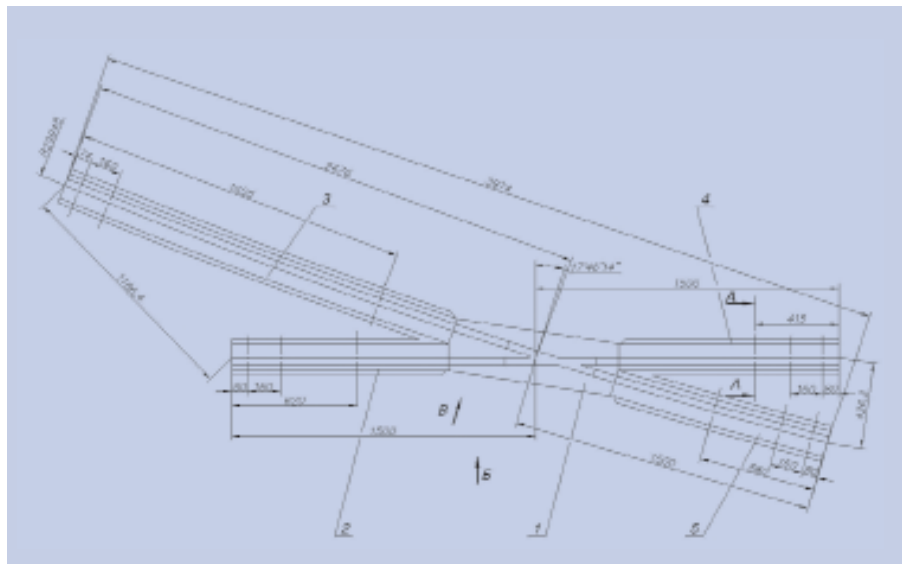


Рис. 3. Раскладки крестовины перед сваркой

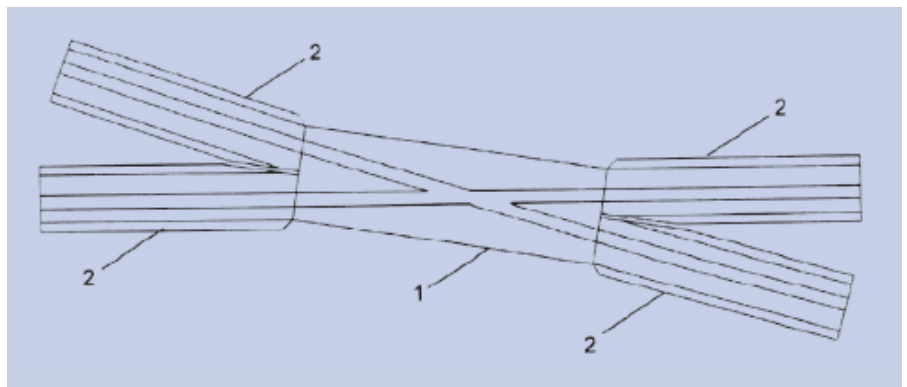


Рис. 4. Общий вид крестовины: 1 – сердечник; 2 – усовики

с поверхности катания колеса и головки рельса на поверхность вершины гребня и желоба крестовины. Это происходит при уменьшении глубины желоба до 14 мм. Угол встречи гребня колеса с желобом называется углом удара β_y (рис. 5).

Сила удара зависит от скорости движения, соударяющихся масс взаимодействия (неподдрессоренной массы тележки, приходящейся на одно колесо, и массы пути, которую сосредоточивает в себе остриек с другими элементами конструкции, участвующими во взаимодействии) и конечно, от угла удара. Очевидно, что чем больше нагрузка на колесо, мас-

са пути и угол удара, тем больше сила ударного взаимодействия. При расчете допускаемых величин скорости движения в зоне стрелки и крестовины важнейшим принимают параметр $[W_0]$ — допускаемую условную характеристику потери кинетической энергии на удар в остриек [7].

Значения параметра $[W_0]$ в США принимают в пределах 0,76–0,97 км²/ч², во Франции — 0,76–0,93, в Чехии и Словакии — 0,97 км²/ч². На дорогах России эту величину принимают равной 0,8 км²/ч².

При стандартном решении угол, при котором гребень колеса врезается в горизонтальную поверхность, равен

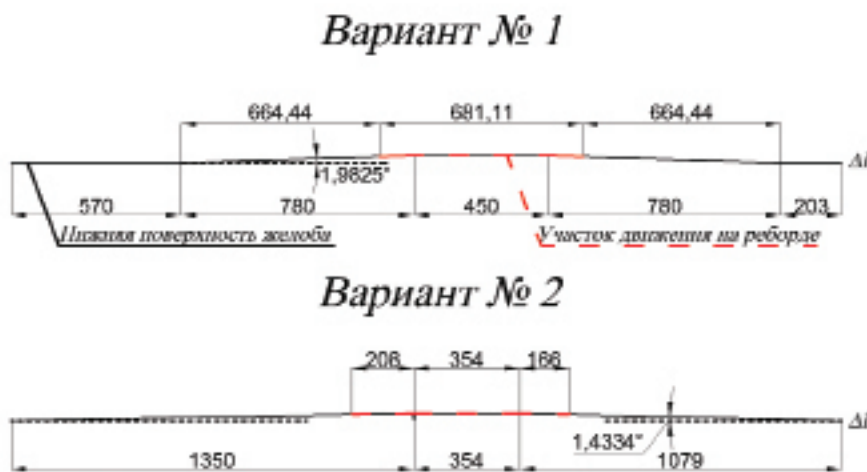


Рис. 5. Два варианта глубины желоба и изменения углов удара: поперечный разрез

$\beta_1 = 1^\circ 54' 33'' = 1,9825^\circ$, так как уклон 1/30 при длине наклонного участка 913 мм, на котором происходит изменение глубины желоба с 14 мм до 41 мм, $\beta_2 = 1^\circ 26' 00'' = 1,4334^\circ$.

Допускаемая скорость по условию ограничения кинетической энергии на удар определяется по формуле (1)

$$V_{\text{доп1}} = \frac{\sqrt{[W_0]}}{\sin \beta_y} \quad (1)$$

Откуда $[W_0] = (V_{\text{доп1}} \sin \beta_y)^2$.

При стандартном решении:

$$\begin{aligned} V_{\text{доп1}} &= 5 \text{ км/ч}; \\ \sin \beta_y &= \sin \beta_1 = \sin 1^\circ 54' 33''; \\ [W_1] &= (V_{\text{доп1}} \sin \beta_y)^2 = 0,027747. \end{aligned}$$

При распределении уклона по длине 913 мм:

$$\begin{aligned} V_{\text{доп1}} &= 5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}; \\ \sin \beta_y &= \sin \beta_2 = \sin 1^\circ 26' 00''; \\ [W_1] &= (V_{\text{доп1}} \sin \beta_y)^2 = 0,015644. \end{aligned}$$

По результатам расчетов при устройстве уклона с 14 до 41 мм на длине 913 мм наблюдается снижение потери энергии на 43,6 %.

При стандартном решении поверхность, в которую врезается гребень колеса, имеет уклон 1/30, где $\beta_1 = 1^\circ 54' 33''$. Тогда минимальная длина наклонного участка, на котором допустимо применение единого уклона, составит

$$L_{\text{min}} = \frac{h}{\text{tg} \beta_1} = \frac{41-14}{\text{tg} 1^\circ 54' 33''} = 810 \text{ мм.}$$

(при меньшей длине уклон превысит 1/30).

Увеличение длины зоны прохода крестовины на реборде дает возможность повысить скорость прохода крестовины в прямом направлении. Известен положительный опыт применения подобных методов в Европе. Конструкции крестовин

известной австрийской марки Voestalpine позволяют пропускать подвижной состав со скоростью до 50 км/ч. Современные отечественные конструкции ограничивают эту скорость величиной 25 км/ч [8].

Экономический эффект от применения сварных фрезерованных крестовин вместо цельнолитых заключается в экономии затрат, связанных с изготовлением форм и привлечением литейного производства. Вследствие сложности геометрических параметров трамвайных крестовинных узлов и малых объемов производства по сравнению с железнодорожными аналогами стоимость изготовления формы оказывается дороже стоимости крестовины. Весь производственный цикл по фрезерованию сварных крестовин задается программным методом и не требует затрат на переоборудование станков.

Кроме того, экономический эффект может быть получен от изменения технологии изготовления усовиков при внедрении профиля усовика по варианту 2.

Рассмотрим операцию по формированию желоба усовика крестовины по двум вариантам. Для расчетов по затратам времени на механическую обработку (фрезерование) усовиков воспользуемся нормативами времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного времени при работе на металлорежущих станках [9].

Время, необходимое для обработки одной заготовки, $T_{\text{шт}}$ [13] вычисляется по формуле (2)

$$T_{\text{шт}} = T_M + T_B + T_{\text{об}} + T_{\text{п}}, \quad (2)$$

где T_B — вспомогательное время, необходимое для установки и снятия заготовки, подвода и отвода инструмента и т. п.; $T_{\text{об}}$ — время обслуживания

оборудования, рабочего места, поддержания инструмента и приспособлений в рабочем состоянии; $T_{\text{п}}$ — время перерывов на отдых рабочего, отнесенное к одной заготовке (определяются согласно [9, 13]); T_M — машинное время (рассчитывается по формуле 3):

$$T_M = \frac{l_1 + D_{\text{фр}} + l_{\text{пер}}}{v_{\text{под}}}, \quad (3)$$

где $D_{\text{фр}}$ — диаметр фрезы, $l_{\text{пер}}$ — длина перебега фрезы, — длина участка фрезерования (зависит от варианта профиля усовика).

При изготовлении желоба усовика по варианту 1 необходимо выполнить три прохода дисковой фрезой, далее следует фрезерование наклонного участка для формирования поперечного уклона рельса и формирование радиуса рабочего канта.

Приведем последовательность операций при заданной геометрии [9, 11, 13]. Установка детали. Фрезерование желоба на участке длиной 488 мм от глубины 18,6 мм до глубины 41 мм. Перестановка. Фрезерование желоба на участке длиной 1058–488 = 570 мм на глубину 41 мм. Перестановка. Фрезерование правого уклона желоба на участке длиной 488 мм от глубины 18,6 мм до глубины 41 мм. Перестановка. Фрезерование правого уклона желоба на участке длиной 1058–488 = 570 мм на глубину 41 мм. Перестановка. Фрезерование левого уклона желоба на участке длиной 488 мм от глубины 18,6 мм до глубины 41 мм. Перестановка. Фрезерование левого уклона желоба на участке длиной 1058–488 = 570 мм на глубину 41 мм. Заключительное время.

Формирование радиуса рабочего канта и угла на поверхности катания не рассматривается, так как в том и другом случае выполняется одинаково.

Тогда время на обработку одной заготовки по варианту 1

$$T_{\text{шт1}} = 130,6 \text{ мин.}$$

Время фрезерования усовика по новой технологии (вариант 2) при исключении перестановок

$$T_{\text{шт2}} = 89,49 \text{ мин.}$$

Таким образом, время изготовления сокращается на 31 %:

$$k = \frac{T_{\text{шт1}} - T_{\text{шт2}}}{T_{\text{шт2}}} 100 \% = \frac{130,6 - 89,49}{89,49} 100 \% = 31\%.$$

При изготовлении крестовины необходимо фрезерование четырех усовиков, следовательно, время изготовления детали сократится более чем в два раза.

Выполним расчет экономического эффекта от предлагаемых изменений технологии фрезерования для одного T-образного пересечения трамвайных путей. Такое пересечение состоит из пяти кресто-



вин, т. е. необходимо обработать 20 усовиков.

Заработная плата фрезеровщика составляет от 40 до 70 тыс. руб., примем $(40+70)/2 = 55$ тыс. руб. при норме 176 ч. Стоимость одного часа работы составит $55000/176 = 312,5$ руб.

Продолжительность изготовления 20 усовиков по старой технологии: $20 \times 130,6 = 2612,0$ мин = 43,5 ч; по новой $89,49 \times 20 = 1789,8$ мин = 29,8 ч. Тогда для фрезерования 20 усовиков по старой технологии оплата труда рабочих составит — $312,5 \times 43,5 = 13593,75$ руб., а по новой — $312,5 \times 29,8 = 9312,5$ руб.

Кроме того, уменьшатся затраты и на машино-часы.

Себестоимость машино-часа (сметная ставка) рассчитывается по формуле (4)

$$C_{(м-ч)} = A_p + Э + M_b, \text{ руб./ч}, \quad (4)$$

где $C_{(м-ч)}$ — сметная ставка за один машино-час работы оборудования, руб./ч;

A_p — амортизационные отчисления на реставрацию (полное восстановление) оборудования, руб./ч;

$Э$ — затраты на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб./ч;

M_b — затраты на вспомогательные материалы, используемые при эксплуатации оборудования, руб./ч.

Выполнив соответствующие расчеты, получим, что при фрезеровании 20 усовиков по старой технологии сметная ставка $C_{м-ч} = 3490$, а по новой технологии $C_{м-ч} = 2391$ руб./ч.

Тогда суммарные затраты по фрезерованию 20 усовиков по старой технологии составят $13593,75 + 3490 = 17083,75$ руб.,

по новой — $9312,5 + 2391 = 11703,5$ руб., откуда $17083,75 - 11703,5 = 5380,25$ руб. экономии. Следовательно, только на одном Т-образном пересечении экономия составит более пяти тысяч руб.

Таким образом, предлагаемое изменение поперечного профиля крестовины позволит снизить допускаемую условную характеристику потерь кинетической энергии на удар в остяк (W_0) на 43,6%, что приведет к повышению безопасности движения и уменьшению износа гребня и крестовины, хотя длина прохождения колеса по желобу на реборде увеличится на 7%. Минимальная длина, на которой допускается изменение уклона глубины желоба усовика с 14 до 41 мм, составляет 810 мм. Увеличение длины зоны прохода крестовины на реборде позволит повысить скорость прохода крестовины в прямом направлении. Изменение технологии изготовления усовиков дает значительный экономический эффект. ■

Литература

1. Дудкин Е. П., Черняева В. А. Проблемы охраны труда и геозкологической опасности городского транспорта // Технол. техносферной безопасности: Научный интернет-журнал. 2014. № 1 (53). С. 29.
2. Дудкин Е. П., Параскевопуло Ю. Г., Султанов Н. Н. Использование фибробетона в конструкции трамвайных путей // Транспорт РФ. 2012. № 3–4 (40–41). С. 77–79.
3. Дудкин Е. П., Султанов Н. Н., Параскевопуло Ю. Г. и др. Городской рельсовый транспорт: инновационные конструкции трамвайного пути на выделен-

ной полосе // Там же. 2013. № 4 (47). С. 51–54.

4. Патент Е 01В 7/10 (2000.01). Сборная крестовина для рельсовых пересечений трамвая № 2215081.
5. Патент Е 01В 7/10 (2000.01). Крестовина для рельсовых пересечений трамвая № 14941.
6. СП 98.13330.2012. Трамвайные и троллейбусные линии. Актуализированная редакция СНиП 2.05.09–90.
7. Полезная модель Е 01В 7/10 (2006.01). Крестовина для рельсовых пересечений № 13477.
8. Соколов А. Н., Азаров А. С. Технология металлов. — М.: Машгиз, 1953.
9. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупное производство. — М.: Центральное бюро нормативов по труду при Науч.-исслед. ин-те труда Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам, 1984.
10. ТУ 485942–001–01115840–2012. Крестовина сварная для трамвайных путей.
11. Энциклопедия по машиностроению. Том 1–5. Гл. ред. акад. К. В. Фролов. — М.: Машиностроение, 2013.
12. Правила технической эксплуатации трамвая от 2002–04–01.
13. Баграмов Л. Г., Колокатов А. М. Расчет режимов резания при фрезеровании: метод. рекомендации. — М., 2000.