

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.057.4

В. И. ЧИСТЯКОВ, инж. (Концерн «Механосантехмонтаж», г. Днепропетровск)

«МЕТОД ПОДМЕТКИ» В СОЕДИНЕНИЯХ ВИДА «МЕТАЛЛ — БЕТОН»

Размеры современных конструкций, агрегатов, технологических линий таковы, что целиком большинство из них не может быть доставлено с заводов-изготовителей к месту установки. Следовательно, невозможно избежать монтажных стыков частей конструкций и оборудования между собой и с фундаментами.

Поскольку добиться точного предварительного изготовления контактных поверхностей бетонных деталей или фундаментов очень трудно, то в стыках вида «металл — бетон» обычно предусматривают компенсирующие зазоры между металлом и бетоном. После надлежащего взаимного ориентирования поверхностей металла и бетона компенсирующие зазоры, как правило, заливают цементным составом.

Допустимые сжимающие, сдвигающие и растягивающие нагрузки, приходящиеся на стык «металл — бетон», обычно принимают равными половине величины соответствующих рабочих нагрузок, которые способен воспринять бетонный блок с поперечным сечением, равным площади контактной поверхности рассматриваемого стыка. В то же время из-за конструктивных особенностей устанавливаемых на фундаменты машин и агрегатов площади заливаемых бетоном поверхностей оснований в большинстве случаев в 4...10 раз превосходят минимально допустимые, если их рассчитать по напряжениям сжатия бетона величиной 50...80 МПа. Когда используемый для заливки (подливки) стыков состав приготавливается на обычном портландцементе, неизбежно происходит контракция подливки при ее высыхании.

ВСН 361—85 ММСС СССР «Установка технологического оборудования на фундаментах» предусматривает передачу сжимающих нагрузок на фундамент через подливку. Для обеспечения этого обычно устанавливаемые между поверхностями металла и бетона промежуточные элементы должны удаляться после семи-четырнадцати дней твердения бетона подливки. Такой метод соединения получил название «бесподкладочного», поскольку плоские и клиновые подкладки чаще всего использовались в качестве промежуточных элементов. «Бесподкладочный» метод предусмотрено применять для оснований, закрепленных с помощью крепежных фундаментов болтов. Затягивая гайки этих болтов после удаления временных промежуточных элементов, выбирают микрозазоры, которые образуются в результате усадки портландцементной подливки.

Следует также отметить, что имеется опыт длительной работы стыков, части которых соединяют без крепежных болтов. Например, по данным [1] в бывшем СССР 30...35% металлорежущих станков, подливаемых бетоном, устанавливались без фундаментных болтов.

Кроме составов на обычном портландцементном вяжущем, для заливки компенсирующих зазоров между основаниями ответственных машин и бетонными фундаментами применяют безусадочные цементные составы [2]. В этом случае предполагается, что часть сжимающих нагрузок воспринимают промежуточные элементы, а другую часть — безусадочная подливка. Промежуточные элементы после твердения подливки не удаляют и дополнительной затяжки крепежных болтов не требуется.

В качестве аналогии предлагаем проследить эволюцию подходов к способам заделки швов в такой, на первый взгляд далекой от промышленного строительства, области как технология присоединения подметки к ботинку. Так, традиционная подбивка подметки гвоздями и скобами, не обеспечивающими полного прилегания сопрягаемых поверхностей друг к другу, со временем была заменена либо приклейкой, либо комбинированным ниточно-клеевым соединением. Последний характерен тем, что нити выполняют подстраховочную функцию: не позволяют клеевому стыку раскрыться при самых неблагоприятных сочетаниях нагрузок, а клей обеспечивает сплошность, предотвращает проникновение в стык влаги и пыли, попадание которых резко ускоряет разрушительные процессы. Если с таких позиций подойти к соединению «металл — бетон» и попытаться в максимальной степени использовать адгезионное сцепление подливки с металлом, то открываются перспективы получения принципиально нового метода замоноличивания, более эффективного по сравнению с ныне применяемыми. Назовем его условно «методом подметки».

Когда основание свободно, без болтов опирается на фундамент, то работа такого соединения на отрыв и на сдвиг будет обеспечиваться только за счет сил адгезии: получаем чисто клеевой стык.

Если применяются крепежные болты, то как и в случае с подметкой ботинка, подливка будет играть роль клея, а болты — роль ниток, т. е. крепежные болты призваны подстраховывать клеевой стык, заранее создавая в нем сжимающие напряжения подобно тому, как уже несколько десятилетий поступают при предварительном напряжении железобетонных конструкций.

Общее для большинства традиционных клеевых соединений состоит в том, что одна поверхность окончательно прижимается к другой до завершения схватывания клея. Если взглянуть с этих позиций на вышеописанные «бесподкладочный» и «безусадочный» способы соединения металла с бетоном, то видно, что оба они не отвечают данному требованию.

Представленные на рис. 1 так называемые «безусадочные» подливки вопреки описаниям процесса в [2] не являются безусадочными в полном смысле этого слова. В течение первых нескольких часов или суток после заливки они увеличиваются в объеме, а после этого медленно усаживаются. Таким образом, получается, что подливаемая металлическая поверхность будет контактировать либо с промежуточным

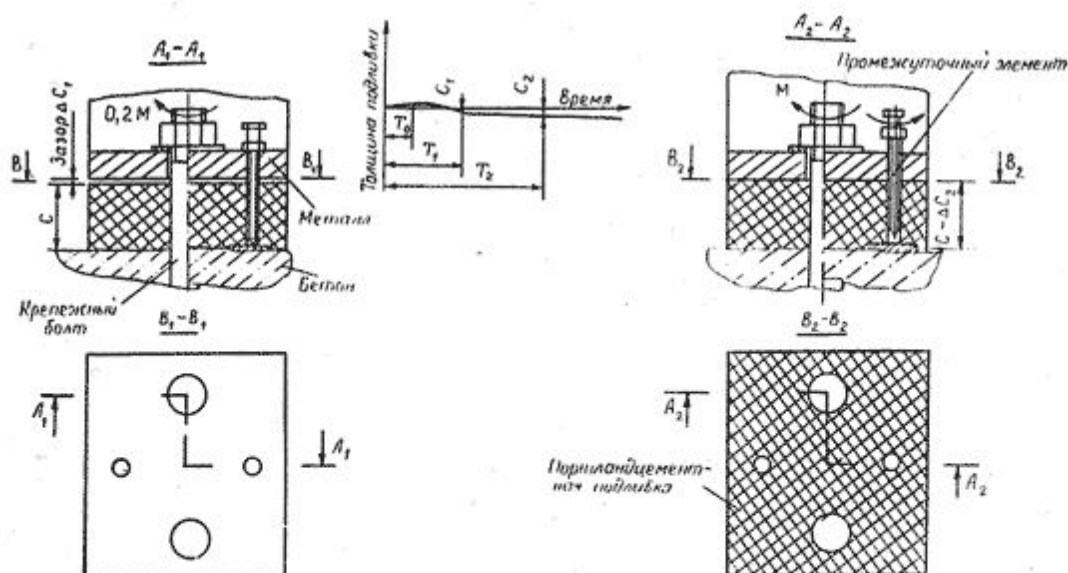


Рис. 2. Схема отслоения подливки от металла T_1 и повторной притяжки к ней металла T_2 при «бесподкладочном» способе закрепления по ВСН 361—85

T_2 — срок увлажнения бетона; M — номинальный момент крепежного болта

ми элементами (рис. 1, б), либо с отвердевшей цементной подливкой (рис. 1, а). И согласно [4], невозможно гарантировать абсолютного равенства толщины высохшей подливки толщине (или высоте) промежуточных элементов. Другими словами, остающиеся в стыке «металл — бетон» промежуточные элементы мешают полному прилеганию. В случае, показанном на рис. 1, а, они уменьшают полезную площадь контакта металла с подливкой, а в случае, приведенном на рис. 1, б, обуславливают возникновение в ней дополнительных растягивающих напряжений, ослабляющих металлобетонное соединение. Причем наиболее вероятно разъединение по стыку «металл — подливка».

В показанном на рис. 2 случае применения бетона из обычного портландцемента, при котором, согласно ВСН 361—85 предусматривается удаление временных промежуточных элементов («бесподкладочный» метод), отделение подливки от металла происходит до удаления этих элементов. И хотя при последующей окончательной подтяжке крепежных болтов поверхность металла снова прижимают к высохшей подливке, склеивания контактных поверхностей уже не происходит.

Описанные процессы, обуславливающие из-за наличия промежуточных элементов расслоения в стыке, который до сих пор не рассматривали как клеевой, усугубляется еще тем, что в отличие от обычных клеевых соединений (таких как в подметке ботинка, например), исходные зазоры между металлом и бетоном в 50...500 раз превышают толщину слоя клея между непосредственно контактирующими поверхностями, что делает общую усадку подливки соответственно более ощутимой. Также не учитываются химический состав металла, шероховатость и состояние поверхности (наличие окисных пленок, окалин, тип лакокрасочного покрытия и т. д.).

Специфические по сравнению с традиционными клеевыми соединениями особенности стыка вида «металл — бетон» требуют выработки новых способов склеивания. Представляется, что существуют два основных направления.

А. Создать либо применить использовавшиеся для других целей цементные составы, которые, с одной стороны, не будут расширяться сильнее, чем это допустимо для конкретного стыка, а с другой, толщина слоя подливки на всех стадиях твердения и высыхания всегда будет не меньше первоначального зазора между металлом и бетоном. Наибольшее расширение бетонного камня не должно вызывать в болтах растягивающих нагрузок, которые превышали бы допустимые величины. Последующего удаления промежуточных элементов при работе с такими подливками не потребуется [5].

Б. Оптимизировать состав подливки и порядок ухода за ней для того, чтобы до начала усадочного процесса подливка достигала достаточной прочности на сжатие. Согласно [6], своевременное удаление промежуточных элементов позволяет избежать нарушения целостности стыка «металл — подливка», даже если окончательная толщина высохшего слоя будет меньше исходной величины зазора, а прило-

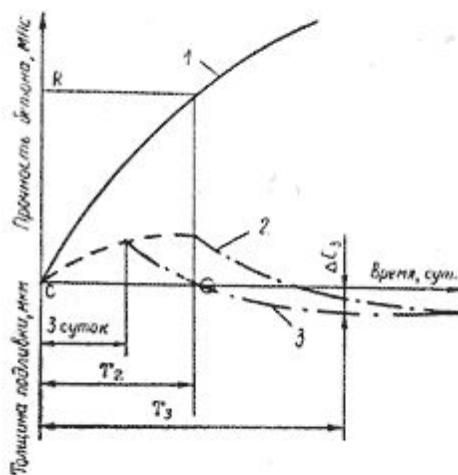


Рис. 3. Определение срока T_2 удаления промежуточных элементов, при котором исключается расслоение ΔC_3 (начало обозначено O) в стыке «металл — портландцементная подливка»
1 — кривая набора бетоном прочности (R , МПа — допустимая нагрузка на сжатие);
2 — кривая расширения — усадки по [6];
3 — кривая расширения — усадки по ВСН 361-85, согласно которой промежуточные элементы удаляют при сроке $T_2 > 3$ сут;
— — влажное (водное) твердение подливки; — — твердение на воздухе

№ пп	Обозначение подлинки	Режим твердения подлинки до испытания	Продолжительность усадки подлинки, сут.	Срок удаления опорных элементов, сут.	Срок твердения подлинки до испытания, сут.	Усилия предвзвешенной окантовки, кН	Материал талла	Шероховатость поверхности металла	Тип покрытия поверхности металла	Изменение высотного положения («+» подъем, «-» опускание жакета перед испытаниями на сцепление, мм	Продолжительность приложенных динамических нагрузок, сут.	Средняя минимальная прочность адгезионного сцепления, МПа	
												на отрыв	на сдвиг
1	СТ-2	Влажно-воздушный	3	7	7	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,042	—	0,60/0,57	2,4/2,25
2	СТ-2	»	3	7	28	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,051	—	0,47/0,43	1,9/1,68
3	СТ-2	Влажный	4,1	4,1	28	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	-0,053	20	0,19/0,05	0,6/0,45
4	СТ-2	Влажно-воздушный	4,1	4,1	28	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,040	—	2,1/2,0	8,9/8,2
5	СТ-2	»	4,1	4,1	28	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,049	—	2,0/1,85	8,5/8,0
6	СТ-2	»	4,1	4,1	28	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,050	20	1,8/1,6	8,1/7,5
7	СТ-2	Водный	3,7	3,7	3,7	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	-0,039	—	3,1/2,9	12,8/11,9
8	СТ-2	»	3,7	3,7	3,7	5,4/—	Ст. 3	0,32**	—	-0,039	—	3,1/2,9	12,7/11,3
9	СТ-2	»	3,7	3,7	3,7	5,4/—	Чугун	1,25	—	-0,039	—	3,3/3,1	14,1/13,7
10	СТ-2	»	3,7	3,7	3,7	5,4/—	Ст. 3	1,25	Окра-ска***	-0,041	—	3,2/3,0	12,9/12,1
11	СТ-2	»	5	5	5	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,013	—	3,0/2,8	12,7/12,2
12	СТ-2	»	2,5	2,5	2,5	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,009	—	2,1/1,9	9,8/9,1
13	СТ-2	Водно-воздушный	2,5	2,5	3,7	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,007	—	3,5/3,1	14,9/14,0
14	СТ-2	»	3,7	3,7	28	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,051	—	3,2/2,8	13,0/12,4
15	СТ-2	»	3,7	3,7	28	5,4/27,1	Ст. 3	1,25	—	-0,050	20	3,1/2,8	12,9/12,4
16	НЧ-3	»	2,5	—	7	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,039	—	4,7/4,2	17,3/16,9
17	НЧ-3	»	2,5	—	28	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,037	—	4,8/4,3	17,5/17,0
18	НЧ-3	»	2,5	—	28	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,037	20	4,6/4,2	17,2/16,9
19	НЧ-3	Водный	2,5	—	2,5	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,041	—	3,4/3,2	11,9/11,4
20	Э-2	Влажно-воздушный	3,7	—	28	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,012	—	6,8/6,3	25,3/25,0
21	Э-2	»	3,7	—	28	5,4/—	Ст. 3	1,25	—	+0,012	20	6,6/6,2	25,1/24,9
22	СТ-2	Водно-воздушный	3,7	—	28	—	—	—	—	—	—	4,8/4,6	16,2/15,9
23	СТ-2	»	3,7	—	28	—	—	—	—	—	—	5,9/5,7	20,5/20,2
24	Э-2	»	3,7	—	28	—	—	—	—	—	—	7,2/6,9	28,6/27,9
25	Э-2	»	3,7	—	28	—	—	—	—	—	—	8,8/8,5	30,7/30,3

* Удельные динамические нагрузки сжатия 3,5 МПа и отрыва 0,5 МПа при частоте их попеременного приложения 10 Гц.

** Значения шероховатости поверхности 0,32 мкм и 1,25 мкм по ГОСТ 2789-73.

*** Окраска металлической поверхности лаком ХВ-784 ГОСТ 7313-83 по грунтовке ХС-010 ГОСТ 9355-81.

жением в расчетные сроки прижимающих усилий при затяжке крепежных болтов можно дополнительно повысить прочность соединения. Способ показан на рис. 3.

Проведенный анализ информации по рассматриваемому вопросу в отечественных и зарубежных научно-технических источниках показал, что несмотря на простоту метода изложенные принципы соединения металла с бетоном нигде, кроме опытов [5, 6], не использовались. Новизна их заключается в создании с помощью специальных приемов

необходимого избыточного давления между металлом и бетонной подливкой на всех стадиях ее твердения и после его окончания — при восприимчивости стыком рабочих нагрузок.

Для углубленного исследования предлагаемого «метода подметки» автором были проведены серии опытов с некоторыми широко распространенными цементными материалами. В 25-ти сериях опытов на макетах варьировались марки черных металлов, покрытия, уход за подливкой, время уборки промежуточных элементов. Каждая серия включала испытания на 12-ти одинаковых образцах: шесть испытывались на отрыв и шесть — на сдвиг. В ходе испытаний каждый образец проверяли по семи параметрам. Средние результаты опытов по каждой серии приведены в таблице. Сравнение значений параметров дает представление о влиянии переменных величин на сцепление металла с бетоном.

Макеты для серий опытов с 1-й по 23-ю были выполнены одинаковых размеров. Контактные поверхности в сериях 1—23 имели горизонтальное расположение, металлические элементы размещали сверху. Такое расположение выбрано потому, что верхние слои подливки в результате седиментационного оседания твердых частиц являются по сравнению с нижними более водонасыщенными. Воздушные пустоты также чаще встречаются в верхних слоях подливки. Поэтому другие варианты расположения поверхностей металла и бетона должны дать соответственно более высокую адгезию.

Значения параметров по сериям 14, 22—23 и 20, 24—25 определяли в сопоставимых условиях: на бетоне из одних и тех же замесов. В сериях 22—25 испытывали бетонные образцы-восьмерки стандартной формы с поперечным сечением посередине, равным площади контакта металлической пластины с бетоном в сериях 14 и 20. В 22-й и 24-й сериях стыки располагались горизонтально, а новый бетон заливали сверху. Восьмерки 23-й и 25-й серий изготавливались из монолитного бетона.

Все 300 образцов подливались практически одновременно (в течение четырех часов) и хранились в одном помещении. Контроль параметров осуществлялся одними и теми же измерительными средствами.

Выводы. Проведенные автором выборочные опыты доказывают возможность дальнейшего повышения прочности стыка «металл — бетон», в том числе за счет введения химических добавок в сериях 20—21 и 24—25. Работы в направлении поиска и испытания еще более эффективных подливочных составов и способов подготовки поверхности металла должны быть продолжены.

«Метод подметки» даже в случае замоноличивания стыков самыми обычными составами (портландцементными СТ-2 и напрягающимися НЧ-3) обеспечивает прочность на отрыв и на сдвиг, составляющую не менее половины соответствующей прочности монолитного бетона и близкую к прочности стыка «новый бетон — старый бетон». В реальных стыках «металл — бетон» сдвигающие и растягивающие нагрузки, как правило, не превышают 30% соответствующих значений прочности бетонного монолита. Следовательно, можно утверждать, что подливка может самостоятельно работать не только на сжатие, но также на отрыв и на сдвиг. Размеры и количество крепежных болтов по сравнению с ныне действующими нормативами в большинстве случаев могут быть существенно уменьшены.

Поскольку эксплуатационные нагрузки на фундамент и нагрузки на него от массы машин и конструкций обычно в 5...15 раз меньше суммарных усилий затяжки, выбранных по действующим нормативам крепежных фундаментных болтов, то у конструкторов появляется возможность значительного облегчения рам и станин.

Кроме вышесотмеченной экономии металла оснований, «метод подметки» обеспечит и повышение на 30...40% надежности и долговечно-

сти стыков металла с бетоном, что обуславливает требование монтировать ответственное оборудование и системы, чувствительные к вибрации, исключительно таким способом: сокращение в 3...5 раз трудоемкости и продолжительности монтажных операций за счет приближения сроков (или исключения вообще) окончательной затяжки крепежных болтов, а также за счет упомянутого уменьшения диаметров и числа этих болтов.

Рассмотренный метод не требует применения какого-либо дорогостоящего оборудования, материалов, а также длительного обучения исполнителей специфическим навыкам работы. Ожидается, что дополнительные расходы по реализации способа составят всего 0,01 р. на монтаже 1 т оборудования и конструкций. Выигрыш же от внедрения «метода подметки» ожидается в размере 0,53 р./т по ценам 1990 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каминская В. В. Исследование и расчет несущих систем металлорежущих станков в совместной работе с фундаментами: Автореф. дис.— М., 1969.
2. Huge planers maintain precision after installation with non-shrink grout//Australian Machinery and Production Engineering, Oct. 1965, p. 47—51.
3. Швиденко В. И. и др. Влияние пластифицирующих и минеральных добавок на прочность бетона//Промышленное строительство и инженерные сооружения.— 1991.— № 3.— С. 31.
4. Михайлов В. В. Предварительно-напряженные железобетонные конструкции.— Стройиздат, 1978.— С. 86—87.
5. А. с. 1754997 СССР. Способ крепления оборудования к фундаменту/В. И. Чистяков, П. П. Алексеенко, Н. Ю. Коваленко (СССР).— № 4854661; Заявлено 27.07.90; Оpubл. 15.06.92, Бюл. № 30.
6. А. с. 1751586 СССР. Способ крепления к фундаменту оборудования/В. И. Чистяков и др. (СССР).— № 4855170; Заявлено 27.07.90; Оpubл. 01.03.92. Бюл. № 5.

Получено 18.10.91



УДК 691.58

Г. А. Мирный, В. И. Чистяков,
инженеры

СПЛОШНОКЛЕЕВОЙ МЕТОД ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА БЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТАХ

Для замоноличивания швов металлобетонных соединений вида «фундамент—оборудование» и «фундамент—конструкция» применяют бетоны марки 300 и выше, которые обеспечивают при сцеплении с металлами адгезионную прочность на сдвиг 12—30 МПа и на растяжение — 1—7 МПа. Однако до настоящего времени клеящие свойства бетонных подливок практически не учитываются; взаимодействие металла с бетоном рассматривалось лишь как механический контакт двух твердых тел.

Проектировщики в указаниях по монтажу не оговаривают характерные для всех клеевых швов специфические требования к технологии замоноличивания стыков. И если руководствоваться их указаниями и действующими строительными нормативами, то в соединениях возникают усадочные расслоения еще до приложения к ним рабочих эксплуатационных нагрузок.

Положение не исправляет и то, что после удаления из стыков временных опор (отжимных винтов, домкратов и т. д.) опорные металлические поверхности снова прижимают к высохшей под-

ливке*. Адгезионное сцепление восстанавливать не удается.

Концерна «Механосантехмонтаж» совместно с ВНИИмонтажспецстроем и Днепропетровским инженерно-строительным институтом провели исследования по использованию адгезионных свойств подливки и разработали «Инструкцию по закреплению на бетонных фундаментах оборудования и конструкций методом СКС (сплошноклеевого соединения) для проектировщиков и исполнителей работ. В ней приведены специальные технологические приемы, позволяющие создавать между металлом и подливкой избыточное давление на всех стадиях твердения бетона и после его окончания — при восприятии стыком рабочих нагрузок. Даны конкретные указания и рекомендации по использованию сплошноклеевого метода для подливок на портландцементном и расширяющемся вяжущем, а также для подливок с добавками, повышающими адгезию.

Использование предлагаемой технологии позволяет: увеличить на 30—40 % надежность и долговечность соединений,

* СМ. ВСН МИСС СССР 361—35. Установка технологического оборудования на фундаментах.— М.: ЦЕНТИ ММСС СССР. 1986.

что обуславливает требование монтировать ответственное оборудование и системы, чувствительные к вибрации, исключительно таким способом;

добиться сокращения в 2—5 раз суммарных сечений фундаментных болтов и вследствие снижения местных нагрузок от болтов на рамы — сократить металлоемкость оснований монтируемых машин и металлоконструкций;

уменьшить в 3—5 раз трудоемкость и продолжительность закрепления оборудования на фундаментах.

Все это позволит приблизить сроки ввода объектов в действие в целом, что особенно актуально для работ, выполняемых в условиях реконструкции и капитального ремонта на действующем производстве.

Разработанный метод весьма прост, не требует какого-либо дорогостоящего оборудования, материалов, а также длительного обучения исполнителей специфическим навыкам выполнения операций.

Ожидаемые дополнительные затраты на выполнение работ новым методом — 0,01 руб. на 1 т монтируемого оборудования, а общий экономический эффект — не менее 0,53 руб/т (в ценах 1988 г.).

Технология сплошноклеевого соединения не имеет аналогов в мировой практике, защищена тремя авторскими свидетельствами.

За справками обращаться: 320000, Днепропетровск, пр. К. Маркса, 71, Тел. 0562 45-23-92.