

С.А.МАДАТЯН, д-р техн. наук, проф., В.В.ДЕГТЬЯРЕВ, инж. (НИИЖБ)

Прочность изгибаемых элементов, армированных стержнями класса А500С, соединенными внахлестку без сварки

При строительстве зданий и сооружений из монолитного железобетона в последнее время всё больше применяют вязаные соединения арматуры внахлестку, отказываясь от сварки. Это, прежде всего, связано с высокой стоимостью электроэнергии; необходимостью использования высококвалифицированных сварщиков; более сложным контролем качества сварных соединений; большей трудоёмкостью сварных соединений при большом количестве стыкуемых стержней. И хотя при использовании соединений арматуры внахлестку без сварки расходуется большее количество арматуры, использование таких соединений в настоящее время получается более выгодным по сравнению со сварными.

В настоящее время в России осуществляется переход на применение в строительстве арматуры класса А500С, имеющей серповидный периодический профиль. В связи с этим возросла актуальность определения длины нахлестки, так как ныне действующий СНиП 2.03.01-84* построен на опыте применения арматуры кольцевого периодического профиля.

Последние исследования этого вопроса в нашей стране были проведены в 50-х годах прошлого века Н.М. Мулиным, С.А. Дмитриевым и Н.Н. Лессиг [1]. Ими были испытаны железобетонные балки, армированные стержнями кольцевого периодического профиля различных диаметров, соединёнными в середине пролёта внахлестку без сварки. Предел текучести арматуры был равен 350 Н/мм². Соединения внахлестку располагались в

растянутой зоне балок. Длина перепуска составляла 30d. В одном сечении стыковалось 100 % рабочей арматуры. В пределах длины нахлестки устанавливались огибающие хомуты диаметром 8 мм с шагом 150 мм ($\mu_v=0,005$). Эти исследования показали, что при длине нахлестки 30d_s и прочности бетона выше 19 Н/мм² арматура балок была доведена до предела текучести. То есть для полного использования арматуры было достаточно длины нахлестки 30d.

Целью настоящей работы было определение длины нахлестки, обеспечивающей надёжную анкеровку арматуры класса А500С с серповидным периодическим профилем в растянутом бетоне и сравнение её с длиной нахлестки арматуры кольцевого периодического профиля.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- исследовать влияние длины нахлестки, как с огибающими хомутами в её пределах, так и без них, на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов;

- исследовать влияние объёмного коэффициента армирования в пределах длины нахлестки на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов;

- исследовать влияние вида периодического профиля арматуры на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов;

- исследовать влияние прочности бетона на прочность, де-

формативность и трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов.

Для достижения поставленной цели были изготовлены и испытаны 32 опытные балки, армированные в растянутой зоне стержнями арматуры класса А500С, соединёнными внахлестку без сварки.

В качестве варьируемых факторов эксперимента были приняты:

- длина нахлестки при отсутствии в её пределах поперечной арматуры (10d, 20d и 30d);
- длина нахлестки при наличии в её пределах поперечной арматуры (огибающих хомутов) (10d, 20d и 30d);
- объёмный коэффициент армирования μ_v в пределах длины нахлестки (0,005; 0,01; 0,016);
- вид периодического профиля арматуры (серповидный с $f_r=0,071$ и кольцевой с $f_r=0,117$);
- прочность бетона (31,5; 38,6 и 42,3 Н/мм²).

В настоящей работе приводятся данные о влиянии исследуемых факторов на прочность железобетонных изгибаемых элементов.

Опытные балки имели размеры поперечного сечения 160×120 мм и были длиной 1400 мм. На рис.1 показана конструкция одной из опытных балок с длиной нахлестки 30d и с шагом поперечной арматуры в пределах стыка 40 мм ($\mu_v=0,016$).

Растянутая зона балок была армирована стержнями горячекатаной арматуры класса А500С диаметром 14 мм. Сжатая зона балок была армирована стержнями диаметром 12 мм.

Поперечное армирование в

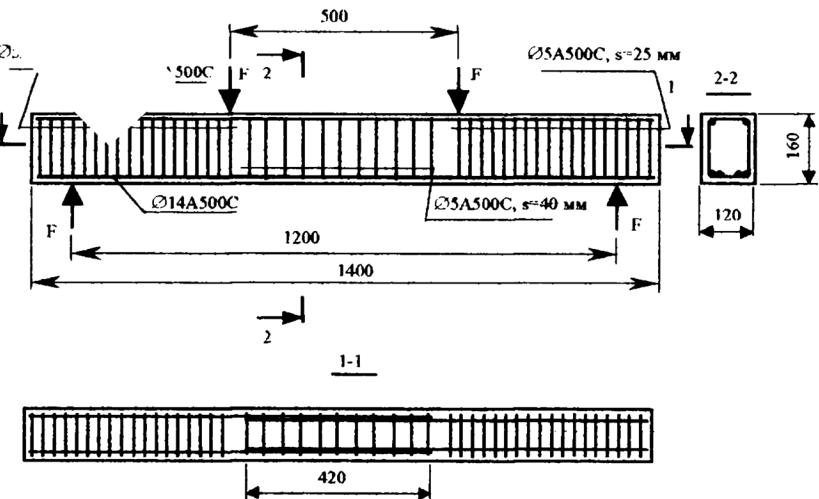


Рис. 1. Конструкция опытной балки с длиной нахлестки 30d и шагом хомутов в пределах стыка 40 мм

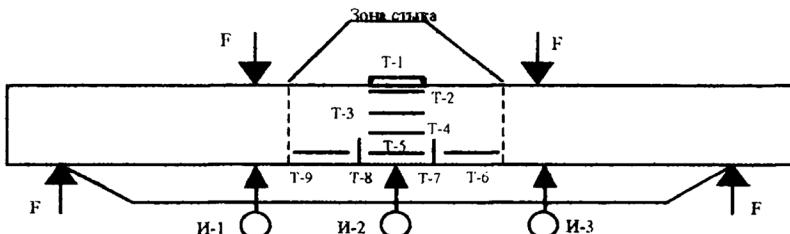


Рис. 2. Схема расстановки измерительных приборов
И-1...И-3 – индикаторы часового типа;
Т-1...Т-9 – электромеханические тензометры Аистова

крайних третях пролёта было выполнено гнутыми хомутами, огибающими продольную арматуру. Хомуты были изготовлены из проволоки класса Вр-I диаметром 5 мм и установлены с шагом 25 мм в соответствии с расчётом прочности балки по сечению, наклонному к продольной оси. Соединение продольных стержней и хомутов осуществлялось вязальной проволокой. Для установки в проектное положение стыкуемые продольные стержни в пределах длины нахлестки были соединены между собой вязальной проволокой в трёх местах.

Поперечная арматура в пределах длины нахлестки была принята в виде гнутых хомутов из проволоки класса Вр-I диаметром 5 мм, огибающих продольную арматуру.

Испытания железобетонных

свободно опёртых балок проводились на специальной установке двумя сосредоточенными силами. Расстояние между силами составляло 500 мм. Такая длина зоны чистого изгиба была принята для того, чтобы стык арматуры внахлестку находился в пределах этой зоны. Нагружение осуществлялось гидравлическим домкратом с помощью ручной насосной станции и контролировалось по манометру насосной станции.

На каждом этапе нагружения в зоне чистого изгиба балки на базе 100 мм измерялись средние деформации бетона на различных уровнях по высоте сечения электромеханическими тензометрами Аистова с ценой деления 0,001 мм (рис. 2). В пределах стыка стержней замерялись поперечные и продольные деформации бетона на уровне растяну-

той арматуры. Поперечные деформации измерялись электромеханическими тензометрами Аистова с базой 50 мм. Прогибы балок в середине пролёта и в местах приложения нагрузки фиксировались индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Результаты испытаний показали следующее.

Разрушение опытных образцов с длиной нахлестки от 10d до 30d без поперечной арматуры в зоне стыка (серия 1) происходило от сдвига арматуры относительно бетона. Разрушение было хрупким и сопровождалось образованием продольных трещин на боковых и верхней (растянутой) гранях балки в зоне стыка. При дальнейшем увеличении нагрузки защитный слой бетона в зоне стыка отслаивался.

Зависимость относительной прочности опытных балок $M_{u,\text{сост.}}/M_{u,\text{ц}}$ ($M_{u,\text{сост.}}$ – разрушающий момент балок с составными стержнями; $M_{u,\text{ц}}$ – разрушающий момент балок с целыми стержнями) от относительной длины нахлестки для балок без поперечной арматуры в зоне стыка была практически линейной (рис. 3).

Как видно из рис. 3, в опытных балках без поперечной арматуры в зоне стыка длины нахлестки 30d оказалось недостаточно для получения прочности равной прочности балок с целыми стержнями ($M_{u,\text{сост.}}/M_{u,\text{ц}} < 1$). И это притом, что длина нахлестки, вычисленная по ТСН 102-00 [2] получается равной 30d. Здесь следует отметить, что отечественными нормами проектирования не допускается стыкование внахлестку в одном сечении более 50 % рабочей арматуры. В испытанных же балках все растянутые стержни арматуры стыковались в одном сечении, что было вызвано необходимостью проверки работы стыка в наиболее тяжёлых условиях.

Образование продольных трещин раскалывания, наблюдавшееся при испытаниях балок первой серии, вызвано растягивающими напряжениями, действующими в направлении перпендикулярном к нахлестке и возни-

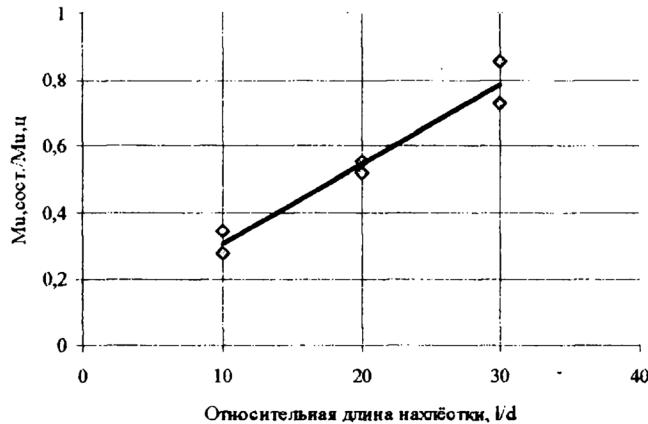


Рис. 3. Зависимость относительной прочности балок от длины нахлестки (без хомутов)

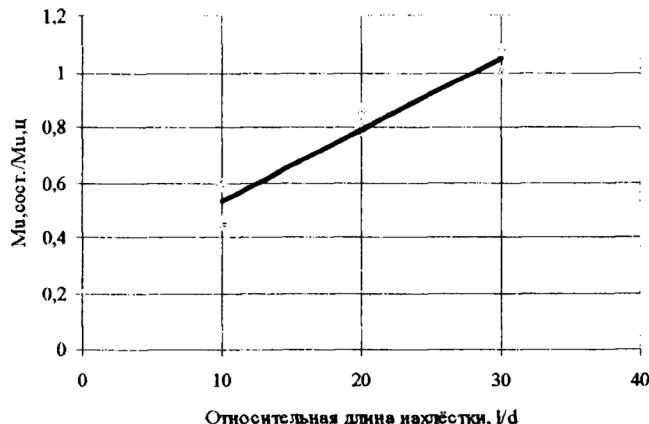


Рис. 4. Зависимость относительной прочности балок от длины нахлестки (с хомутами)

кающими при смещении арматурного стержня относительно бетона. Трещины раскалывания значительно снижают прочность сцепления арматуры с бетоном. Для восприятия растягивающих напряжений в перпендикулярном к заделке направлении должна быть установлена поперечная арматура.

Влияние длины нахлестки при наличии в её пределах огибающих хомутов на прочность изгибаемых элементов оценивалось по результатам испытаний опытных балок второй серии. Длина нахлестки варьировалась в пределах от $10d_s$ (140 мм) до $30d_s$ (420 мм). Поперечная арматура была установлена с шагом 40 мм ($\mu_v=0,016$).

Разрушение опытных балок с длиной нахлестки $10d$ и $20d$ происходило от сдвига арматуры относительно бетона.

Разрушение опытных балок с длиной нахлестки $30d$ происходило после достижения арматурой предела текучести при значении разрушающего момента большем или равном значению разрушающего момента балок, армированных целыми стержнями. При дальнейшем увеличении нагрузки происходил сдвиг арматуры относительно бетона в зоне стыка, сопровождавшийся отслаиванием защитного слоя бетона.

На рис. 4 показан график зависимости относительной проч-

ности опытных балок от длины нахлестки для балок серии 2. Из этого графика видно, что для балок серии 2, так же как и для балок первой серии, имела место практическая линейная зависимость относительной прочности от относительной длины нахлестки.

Постановка в пределах стыка хомутов с шагом 40 мм ($\mu_v=0,016$) привела к увеличению прочности опытных балок с длиной нахлестки $10d$, $20d$ и $30d$ соответственно на 76, 46 и 35 % по сравнению с балками без хомутов в пределах стыка.

При длине нахлестки равной $30d$ и наличии в её пределах огибающих хомутов с объёмным коэффициентом армирования $\mu_v=0,016$ прочность балок с составными стержнями была больше или равна прочности балок с целыми стержнями.

Влияние объёмного коэффициента армирования в пределах длины нахлестки на прочность изгибаемых элементов исследовалось на балках серии 3. Объёмный коэффициент армирования был равен 0,005; 0,01 и 0,016 при длине нахлестки $30d$ и прочности бетона $42,3 \text{ Н/мм}^2$.

Разрушение опытных балок с объёмным коэффициентом армирования 0,005 происходило от сдвига арматуры относительно бетона.

Разрушение опытных балок с объёмным коэффициентом ар-

мирования 0,01 и 0,016 происходило после достижения арматурой предела текучести. При дальнейшем увеличении нагрузки происходил сдвиг арматуры относительно бетона в зоне стыка сопровождавшийся отслаиванием защитного слоя бетона.

График зависимости относительной прочности опытных балок от объёмного коэффициента армирования в пределах стыка приведен на рис.5. Как видно из этого графика, с увеличением объёмного коэффициента армирования от 0,005 до 0,01 прочность опытных балок увеличивалась на 20 %. При дальнейшем увеличении объёмного коэффициента армирования до 0,016 прочность опытных балок не изменялась и была равна прочности балок, армированных целыми стержнями.

Влияние вида периодического профиля арматуры на прочность изгибаемых элементов исследовалось на балках серии 4.

Было принято два вида периодического профиля арматуры: серповидный с $f_t=0,071$ и кольцевой с $f_t=0,117$.

Длина нахлестки была равна $20d$, в её пределах была установлена поперечная арматура в виде огибающих хомутов с шагом 67 мм ($\mu_v=0,01$).

Разрушение всех опытных балок этой серии происходило от сдвига арматуры относительно бетона. Арматура при этом не достигла предела текучести. По-

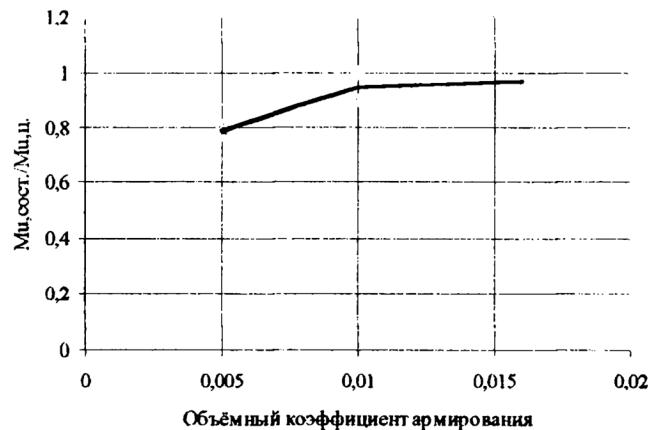


Рис. 5. Зависимость относительной прочности балок от объёмного коэффициента армирования в пределах стыка

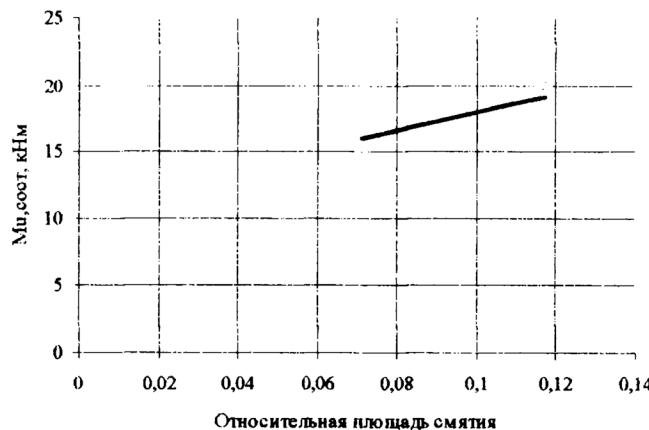


Рис. 6. Зависимость прочности балок от относительной площади смятия поперечных рёбер арматуры

этому здесь не сказалось различие в прочности арматуры (арматура с кольцевым периодическим профилем была класса A400, а с серповидным – A500C).

На рис. 6 приведён график зависимости прочности опытных балок от относительной площади смятия поперечных рёбер f_r .

Из рис. 6 видно, что прочность опытных балок, армированных стержнями кольцевого периодического профиля с $f_r=0,117$ была на 20 % больше, чем прочность аналогичных балок с арматурой серповидного периодического профиля с $f_r=0,071$.

Влияние прочности бетона на прочность изгибаемых железобетонных элементов, армированных стержнями, соединёнными внахлестку без сварки исследовалось на опытных балках серии 5. Прочность бетона была равна 31,5; 38,6 и 42,3 Н/мм². Длина нахлестки равнялась 30d. В пределах стыка были установлены огибающие хомуты с шагом 40 мм ($\mu_v=0,016$).

Разрушение всех опытных балок этой серии произошло пластиично, после достижения арматурой предела текучести. При дальнейшем увеличении нагрузки происходил сдвиг арматуры относительно бетона в зоне стыка, сопровождавшийся отслоением защитного слоя бетона.

Влияние прочности бетона на прочность опытных балок, армированных стержнями, соединёнными внахлестку без сварки установить не удалось, так как все образцы разрушились при $M_{u,coast}/M_{u,uc} \approx 1$.

На основании всего вышеприведенного можно сделать следующие выводы:

1. В исследованных балках, изготовленных из бетона прочностью 31,5 Н/мм² и выше для обеспечения прочности балок, армированных стержнями класса A500C, соединёнными внахлестку без сварки, равной прочности балок, армированных целыми стержнями достаточно длины нахлестки 30d при объёмном коэффициенте армирования 0,016. В балках, изготовленных из бетона прочностью 42,3 Н/мм² достаточно длины нахлестки 30d при объёмном коэффициенте армирования 0,01.

2. Сравнение полученного значения длины нахлестки для арматуры серповидного периодического профиля со значением длины нахлестки для арматуры кольцевого периодического профиля (опыты Н.М. Мулина, С.А. Дмитриева и Н.Н. Лессиг) показало, что значение длины нахлестки практически не зависит от вида периодического профиля арматуры (серповидный или кольцевой). Это значение определяется

в основном комплексом конструктивных факторов, влияющих на сцепление арматуры с бетоном. Поэтому при расчёте значения длины нахлестки по СНиП 2.03.01-84* вид периодического профиля (серповидный или кольцевой) может не учитываться.

3. Для восприятия растягивающих напряжений, действующих в поперечном к нахлестке направлении и возникающих при смещении стержней относительно бетона, в зоне стыка обязательно должна быть установлена поперечная арматура. Результаты испытаний показали, что для опытных балок минимально необходимое значение объёмного коэффициента армирования было равно 0,01 и 0,016, соответственно при прочности бетона 42,3 и 31,5 Н/мм². Такое минимально необходимое количество поперечной арматуры в зоне стыка согласуется с требованиями DIN 1045. Поэтому считаем целесообразным, вычислять минимально необходимое количество поперечной арматуры в пределах длины нахлестки по DIN 1045.

Библиографический список

- НТЦ ЦНИПС по теме «Изучение свойств арматуры периодического профиля горячекатаной и холодносплющенной». – М., 1952. – 47 с.
- ТСН 102-00. Железобетонные конструкции с арматурой классов А500С и А400С. – М., 2000. – 52 с.