

## Механика материалов: прочность, ресурс, безопасность

УДК 620.172:624.014.2

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ БЕСКАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

© М. А. Липленко<sup>1,2</sup>, Ю. С. Кунин<sup>2</sup>

*Статья поступила 25 сентября 2015 г.*

Рассмотрены методика и результаты экспериментальных исследований механических характеристик низкоуглеродистых сталей тонкостенных холодногнутых профилей, которые применяются при строительстве бескаркасных зданий и сооружений. Технология изготовления профилей для бескаркасных строительных конструкций предусматривает два этапа холодной гибки стальной заготовки. На первом этапе прокатывается прямолинейный профиль, а на втором — криволинейный при помощи поперечного гофрирования соответствующих граней, вследствие чего исходный материал проходит две стадии деформационного упрочнения. Исследовали как прямолинейные, так и криволинейные (арочные) профили. Определяли стандартные механические характеристики стали. Экспериментальные исследования показали, что в результате поперечного гофрирования материал угловых участков профиля приобретает большее упрочнение, о чем свидетельствуют повышение прочностных механических характеристик и значительное снижение пластичности.

**Ключевые слова:** холодногнутый профиль; деформационное упрочнение; поперечное гофрирование; бескаркасные здания; механические характеристики.

Развитие рынка стальных тонкостенных строительных конструкций привело к появлению новых типов профилей. В последнее время в России широко применяется уникальная технология изготовления и монтажа бескаркасных арочных сооружений, разработанная в США. На сегодняшний день конструкции такого типа остаются мало изученными, что связано с отсутствием нормативной базы по их проектированию как у нас, так и за рубежом. Этот факт подтверждается ростом количества аварий. Бескаркасные арочные конструкции производятся непосредственно на строительной площадке с помощью мобильного профилегибочного оборудования. Материалами для производства профилей могут служить стальной прокат или сплавы алюминия, поставляемые в рулонах. Наиболее широкое применение на территории России и стран СНГ получил стальной прокат. Исходный стальной штрипс для производства профилей имеет защитные антикоррозионные покрытия: цинковое, алюмоцинковое, цинковое с дополнительными лакокрасочными покрытиями и др. По рассматриваемой технологии производят два типа профилей: П-110 и П-180 (рис. 1). Профили П-110 прокатывают из стали толщиной 0,8 – 1,2 мм, а профили П-180 — из стали толщиной

0,8 – 1,5 мм. Основные технологические этапы производства таких конструкций (рис. 2) заключаются в следующем:

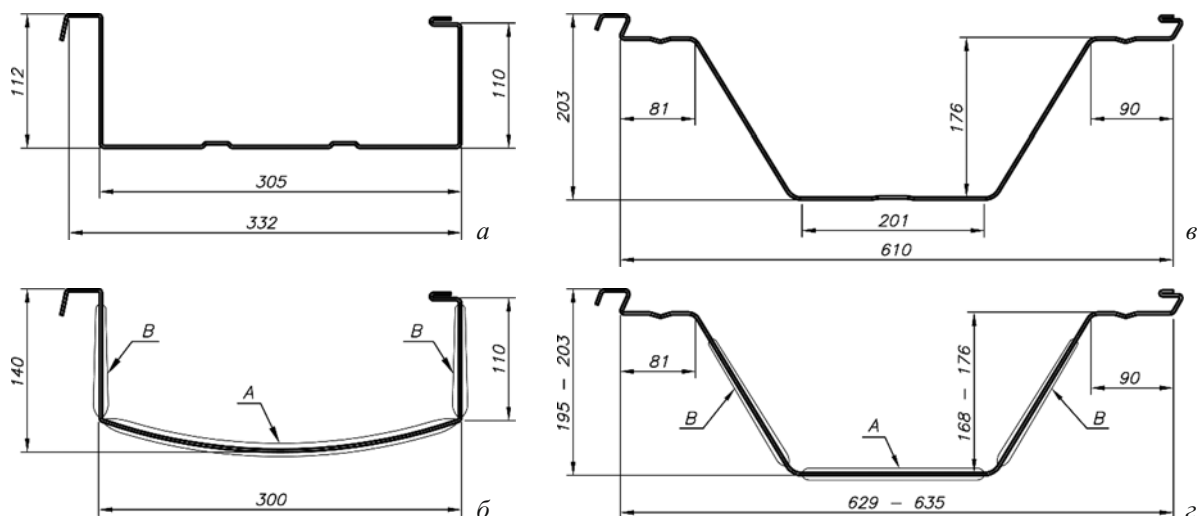
- 1) доставка мобильного профилегибочного стана и штрипса на строительную площадку;
- 2) производство прямолинейного профиля «С»;
- 3) вальцевание прямолинейного профиля в арочный «П» по заданному радиусу;
- 4) сборка на земле арочных профилей в монтажные блоки с помощью фальцевого соединения;
- 5) монтаж арочных блоков на опорные конструкции.

С помощью данной технологии можно производить сооружения с различными формами. Типовые конфигурации зданий показаны на рис. 3. Наиболее широкое распространение получила округлая форма. Пролеты сооружений в зависимости от нагрузок и конструктивного решения варьируются в диапазоне от 6 до 30 м [1 – 3].

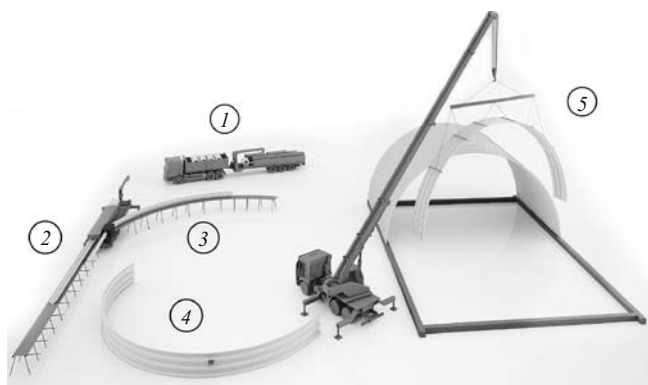
Технология изготовления арочных профилей состоит из двух этапов холодной гибки. На первом этапе из полосы рулона прокатывается прямолинейный профиль, на втором этапе вальцуется арочный профиль. Технология изготовления арочных профилей для свода предусматривает поперечное гофрирование соответствующих граней прямолинейных профилей (см. рис. 1, б, г), что сказывается как на работе всего сооружения при действии эксплуатационных нагрузок

<sup>1</sup> ООО «ЦНИИПСК им. Мельникова», Москва, Россия;  
e-mail: Liplenko@Gmail.com

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.



**Рис. 1.** Поперечные сечения производимых профилей: *a* и *б* — глубина гофр *A* от 2 до 5 мм, *B* от 2 до 5 мм, шаг гофр *A* = 32, *B* = 32 мм; *в* и *г* — глубина гофр *A* от 1 до 5 мм, *B* = 4 мм, шаг гофр *A* = 35 мм, *B* от 35 до 38 мм; *a* и *в* — прямолинейные профили С-110 и С-180; *б* и *г* — арочные профили П-110 и П-180



**Рис. 2.** Основные этапы производства конструкций

[3], так и на механических свойствах материала. В процессе холодной гибки металл профиля за несколько этапов подвергается пластической деформации, в результате чего повышаются предел текучести стали и временное сопротивление разрыву, уменьшаются относительные равномерное и конечное удлинения/сужения. Исследованию механических характеристик стали в холодногнутом профиле различных поперечных сечений уделено достаточно большое внимание как в отечественной, так и в зарубежной литературе [4]. Анализ источников, посвященных данному вопросу, позволил выделить основные факторы, определяющие изменение механических характеристик по поперечному сечению профиля:

свойства стали исходной заготовки;

технологический (технологии производства гнутого профиля и гибки);

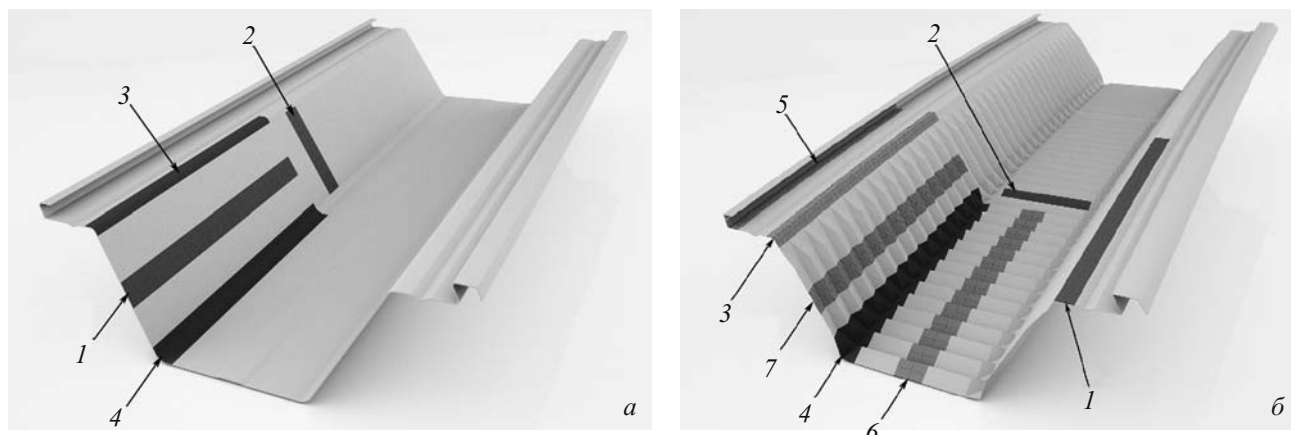
конструктивный (форма профиля, размеры его поперечного сечения).

В связи с отсутствием данных о фактических механических свойствах материала профилей, производимых по данной технологии, представляется актуальной оценка влияния холодной гибки на механические характеристики стали профилей.

Для исследований выбрали трапециевидные типы профилей (см. рис. 1, *в*, *г*), из которых отбирали образцы для статических испытаний на растяжение. Арочный профиль в отличие от прямолинейного имеет более сложное поперечное сечение. Выделим его основные черты, влияющие на механические свойства металла. Верхние полки профиля состоят из «прямых» недеформированных и угловых деформированных участков. Боковые наклонные стенки и нижняя широкая полка имеют поперечное гофрирование (см. рис. 1, *г*). Материал в угловых зонах, обеспечивающих сопряжение стенок с верхними полками, не испытывает дополнительную (вторичную) пластическую деформацию из-за поперечного гофрирования в результате изгиба профиля по заданному радиусу, так как гофры не доходят до этой зоны. Однако угловые участки сопряжения нижней широкой полки и наклонных стенок в процессе вальцевания по радиусу подвергаются поперечному гофрированию со стороны как полки, так и стенок, следовательно, материал в этих зонах приобретает дополнительные пластические деформации к тем, которые были получены в результате



**Рис. 3.** Основные формы сооружений: *a* – *в* соответствуют формам округлой, с двумя закруглениями, двухскатной



**Рис. 4.** Схемы вырезки заготовок из прямолинейного (а) и арочного (б) профилей: 1 и 2 — плоские образцы вдоль и поперек прокатки листа; 3 – 5 — образцы угловые вдоль прокатки (соответственно верхний, нижний, верхний); 6, 7 — образцы поперечно гофрированные (полка и стенка)

формообразования прямолинейного профиля. В связи с особенностями технологии прокатки и формы профиля получаем:

- «прямолинейные» участки на верхних полках;
- угловые участки сопряжения верхних полок со стенками и с замковыми отгибами;
- участки стенок с поперечными гофрами;
- угловые участки сопряжения нижней широкой полки со стенками;
- участки широкой полки с поперечными гофрами.

Исследования проводили на профилях, которые прокатывали из четырех марок сталей: 02 по ГОСТ Р 52246; 08Ю по ГОСТ 9045; 08ПС по ГОСТ 14918; SS Grade 40 по ASTM A1008 (данная марка стали выбрана как наиболее часто применяемая в США для подобных конструкций). Рассматриваемые толщины стальных заготовок: 0,9, 1,0, 1,2 и 1,5 мм. Химический состав исследуемых сталей приведен в табл. 1.

Арочные профили для исследований вырезали непосредственно из экспериментальных натуральных фрагментов покрытий. Профили из конструкций, а также все заготовки вырезали при помощи электрической пилы маятникового типа. Для исключения влияния нагрева на свойства металла зону реза смачивали машинным минеральным маслом. Заготовки обрабатывали на фрезерном станке с применением специальных приспособлений для закрепления угловых образцов и охлаждали. Испытания проводили в соответствии с требованиями действующих нормативных

стандартов [5, 6]. На основании испытаний четырех образцов рассчитывали средние значения определяемых величин. Все образцы для испытаний изготавливали с головками, за исключением поперечно гофрированных (образцов 6 и 7 на рис. 4, б). Исходя из технологических особенностей изготовления, а также с целью унификации ширину рабочей части и расчетную длину всех образцов, вырезанных вдоль прокатки листа, принимали равными 20 и 130 мм соответственно. Для образцов, вырезанных поперек прокатки листа, из-за ограничений по длине и ширине в условиях поперечно гофрированной стенки ширину рабочей части и расчетную длину принимали равными 15 и 40 мм соответственно. Геометрические параметры образцов измеряли с помощью стандартных микрометра и штангенциркуля. Размеры поперечного сечения образца после испытания в зоне разрыва определяли двумя методами: штангенциркулем (ширину) и измерительным микроскопом (толщину), а также путем обработки цифрового фотоснимка рассматриваемого участка. Для измерений ширины поперечного сечения угловых образцов (особенно образцов, вырезанных из углов сопряжения двух поперечно гофрированных граней) использовали марки из синтетического материала, на одну сторону которых наносили клеевую основу. Марки наклеивали на внешние и внутренние поверхности не менее чем пяти рабочих сечений образца. После наклейки марок их подрезали по граням образца — изготавливали шабло-

**Таблица 1.** Химический состав исследуемых сталей

| Сталь       | t, мм | Массовая доля элементов, % |       |       |       |       |       |       |       |      |       |
|-------------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|             |       | C                          | Si    | Mn    | S     | P     | Cr    | Ni    | Cu    | V    | Al    |
| 02          | 0,9   | 0,110                      | 0,013 | 0,560 | 0,021 | 0,019 | —     | —     | —     | —    | 0,051 |
| SS Grade 40 | 1,0   | 0,210                      | 0,015 | 0,850 | 0,017 | 0,017 | 0,042 | 0,012 | 0,041 | 0,05 | 0,077 |
| 08Ю         | 1,2   | 0,044                      | 0,015 | 0,120 | 0,019 | 0,016 | 0,049 | 0,034 | 0,083 | 0,05 | 0,055 |
| 08ПС        | 1,5   | 0,077                      | 0,015 | 0,210 | 0,012 | 0,004 | 0,024 | 0,044 | 0,030 | 0,05 | 0,039 |

ны. Затем полученные шаблоны сканировали. Цифровые изображения шаблонов обрабатывали программными средствами. Данный способ достаточно прост, но трудоемок. Для оценки точности такого метода выполняли контрольное измерение плоских прямолинейных образцов и результаты сравнивали с данными традиционного метода измерения. Кроме того, после испытаний выборочно отбирали несколько угловых образцов и распиливали по пяти сечениям. По фотографиям этих сечений проводили контрольные измерения размеров. Расхождения данных обеих проверок с результатами измерения ширины шаблонным способом не превышали 0,5 %, причем в большую сторону для метода с шаблонами. Испытания проводили на универсальной электромеханической машине Instron 3382 под управлением персонального компьютера. Деформацию определяли двумя способами: на

основании показаний датчика хода траверсы и показаний бесконтактного оптического видеоэкстензометра. Главные преимущества оптического бесконтактного метода — возможность определения деформаций на всех стадиях испытаний образца, использование форм образцов, отличных от стандартных, а также произвольных размеров баз измерения в пределах угла обзора камеры.

В результате проведенных исследований были определены стандартные механические характеристики (табл. 2). При растяжении образцов, вырезанных из плоских не гофрированных участков профиля и ориентированных вдоль прокатки листа, получены диаграммы деформирования с развитой площадкой текучести. Диаграммы деформирования угловых образцов имели различные очертания в зависимости от марки стали, толщины и места расположения углов в профи-

**Таблица 2.** Механические характеристики исследуемых сталей

| Номер образца   | Вид и место вырезки образца      | $\delta_p$ , %   | $\delta_{25}, \delta_5^*$ , % | $\Psi_p$ , %     | $\Psi$ , %      | $\sigma_T, \sigma_{0,2}^*$ , МПа | $\sigma_B$ , МПа | $r/t$ |
|---|----------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|------------------|-------|
| <b>Сталь марки 02, <math>t = 0,9</math> мм</b>          |                                  |                  |                               |                  |                 |                                  |                  |       |
| 1.1   | Плоский вдоль прокатки           | 14,50            | 38,20                         | 12,21            | 58,30           | 228,00                           | 270,67           | —     |
| 1.2   | Плоский поперек прокатки         | 10,80<br>(-25,5) | 16,50<br>(-56,8)              | 9,43<br>(-22,8)  | 58,75<br>(0,8)  | 214,67<br>(-5,8)                 | 266,33<br>(-1,6) | —     |
| 1.3   | Угловой вдоль прокатки           | 10,32<br>(-28,8) | 35,80<br>(-6,3)               | 8,96<br>(-26,6)  | 57,70<br>(-1,0) | 236,67*<br>(7,0)                 | 273,67<br>(1,1)  | 12,2  |
| 1.4   | Угловой вдоль прокатки           | 9,50<br>(-34,5)  | 31,13<br>(-18,5)              | 8,27<br>(-32,3)  | 55,86<br>(-4,2) | 243,00*<br>(7,0)                 | 285,67<br>(5,5)  | 21,1  |
| <b>Сталь марки SS Grade 40, <math>t = 1,0</math> мм</b> |                                  |                  |                               |                  |                 |                                  |                  |       |
| 2.1   | Плоский вдоль прокатки           | 17,81            | 21,95                         | 15,28            | 72,89           | 380,44                           | 474,50           | —     |
| 2.3   | Угловой вдоль прокатки           | 12,44<br>(-30,2) | 13,40<br>(-39,0)              | 10,65<br>(-30,3) | 67,79<br>(-7,0) | 408,17*<br>(7,3)                 | 480,36<br>(1,2)  | 11,0  |
| <b>Сталь марки 08Ю, <math>t = 1,2</math> мм</b>         |                                  |                  |                               |                  |                 |                                  |                  |       |
| 3.1   | Плоский вдоль прокатки           | 21,06            | 26,92                         | 16,78            | 78,59           | 310,93                           | 347,73           | —     |
| 3.2   | Плоский поперек прокатки         | 21,30<br>(1,1)   | 37,51*<br>(39,0)              | 18,95<br>(13,0)  | 78,45<br>(-0,2) | 292,72<br>(-5,9)                 | 325,92<br>(-6,3) | —     |
| 3.3   | Угловой вдоль прокатки (верхний) | 17,09<br>(-18,8) | 28,44<br>(5,6)                | 14,99<br>(-10,7) | 77,84<br>(-1,0) | 338,81<br>(9,0)                  | 372,99<br>(7,3)  | 9,2   |
| 3.4   | Угловой вдоль прокатки (нижний)  | 8,09<br>(-62,0)  | 12,65<br>(-53,0)              | 8,21<br>(-51,1)  | 74,60<br>(-5,1) | 347,56*<br>(12,0)                | 383,54<br>(10,3) | 15,8  |
| 3.5   | Угловой вдоль прокатки (верхний) | 15,93<br>(-24,3) | 25,34<br>(-5,9)               | 13,29<br>(-20,8) | 78,06<br>(-0,7) | 345,88<br>(11,2)                 | 371,99<br>(7,0)  | 5,0   |
| 3.6   | Гофрированный (полка)            | 20,16<br>(-4,2)  | 28,87<br>(7,2)                | 10,80<br>(-35,6) | 76,44<br>(-2,7) | 321,62<br>(3,4)                  | 362,73<br>(4,3)  | —     |
| 3.7   | Гофрированный (стенка)           | 13,14<br>(-37,6) | 16,49<br>(-38,8)              | 10,02<br>(-40,3) | 77,76<br>(-1,1) | 291,46*<br>(-6,3)                | 355,85<br>(2,3)  | —     |
| <b>Сталь марки 08ПС, <math>t = 1,5</math> мм</b>        |                                  |                  |                               |                  |                 |                                  |                  |       |
| 4.1   | Плоский вдоль прокатки           | 15,42            | 24,32                         | 13,89            | 72,07           | 275,84                           | 366,30           | —     |
| 4.2   | Плоский поперек прокатки         | 14,66<br>(-5,0)  | 30,91*<br>(27,1)              | 13,60<br>(-2,1)  | 69,19<br>(-4,0) | 257,58<br>(-6,6)                 | 343,40<br>(-6,3) | —     |
| 4.3   | Угловой вдоль прокатки (верхний) | 5,71<br>(-63,0)  | 13,49<br>(-44,5)              | 5,43<br>(-60,9)  | 70,21<br>(-2,6) | 349,14*<br>(26,6)                | 376,55<br>(2,8)  | 7,3   |
| 4.4   | Угловой вдоль прокатки (нижний)  | 8,63<br>(-44,0)  | 17,41<br>(-28,4)              | 7,22<br>(-48,1)  | 72,11<br>(0,1)  | 347,42*<br>(25,9)                | 376,24<br>(2,7)  | 12,7  |

**Примечание.** В скобках приведено отклонение величины от базового значения, %, за которое приняты результаты испытаний плоских образцов, ориентированных вдоль прокатки листа.



ле. Наиболее характерные условные диаграммы деформирования приведены на рис. 5.

Из анализа результатов испытаний образцов разных марок сталей, но с близким отношением  $\sigma_T/\sigma_B = 0,8 - 0,84$  следует, что в угловых зонах (по сравнению с плоскими участками) при относительно небольших толщинах (0,9 – 1,0) мм предел текучести увеличивается на 7 %, временное сопротивление разрыву — на 1,0 – 5,5 %, при этом относительное равномерное удлинение снижается на 30 %, относительное сужение — на 4 – 7 %. Заметного увеличения предела текучести в угловых зонах, подвергшихся вторичной деформации в результате вальцевания по заданному радиусу, не происходит, но изменяется диаграмма деформирования; у стали марки 02 в связи с высоким отношением  $\sigma_T/\sigma_B = 0,84$  площадка текучести исчезает полностью. Физический предел текучести определить фактически невозможно, поэтому находят условный с допуском на остаточную деформацию 0,2 %.

Изменения механических характеристик стали толщиной  $t = 1,2$  мм после формования профиля несколько больше, чем у рассмотренных выше сталей, несмотря на то, что у данной стали достаточно высокое отношение  $\sigma_T/\sigma_B = 0,89$ . У одинаковых по форме профилей с увеличением толщины происходит уменьшение одного из определяющих факторов — отношения радиусагиба к толщине ( $r/t$ ). Наличие достаточно большого относительного равномерного удлинения (21 %) приводит к сохранению физического предела текучести и самой площадки текучести на диаграмме деформирования (см. рис. 5, а). Предел текучести в верхних угловых зонах по сравнению с плоскими участками выше на 9 – 11 %, временное сопротивление разрыву — на 7 %, тогда как относительное равномерное удлинение меньше на 19 – 24 %. Как и предполагалось ранее, образцы металла, отобранные из нижних углов профиля, которые подвергались вторичной пластической деформации в результате поперечного гофрирования, имели более высокие предел текучести и временное сопротивление разрыву не только по отношению к плоским участкам, но и к другим угловым образцам, не подвергавшимся вторичной деформации. Диаграммы деформирования в этих зонах профиля не имеют физического предела текучести и по очертанию больше похожи на диаграммы высокопрочных сталей (см. образец 3.4, рис. 5, а). Так, предел текучести повысился на 12 %, предел прочности — на 10 %. Следует также отметить один немаловажный фактор: с увеличением толщины исходной заготовки в результате поперечного гофрирования (вторичной пластической деформации) произошло резкое уменьшение относительных удлинений: равномерного — на 62 % и конечного — на 53 %; при этом плоские участки имели достаточно высокие эти характеристики — 21 и 26,9 % соответственно. Значения относительных удлинений — равномерного и конечного — для материала поперечно гофрированных стенок и полки следует

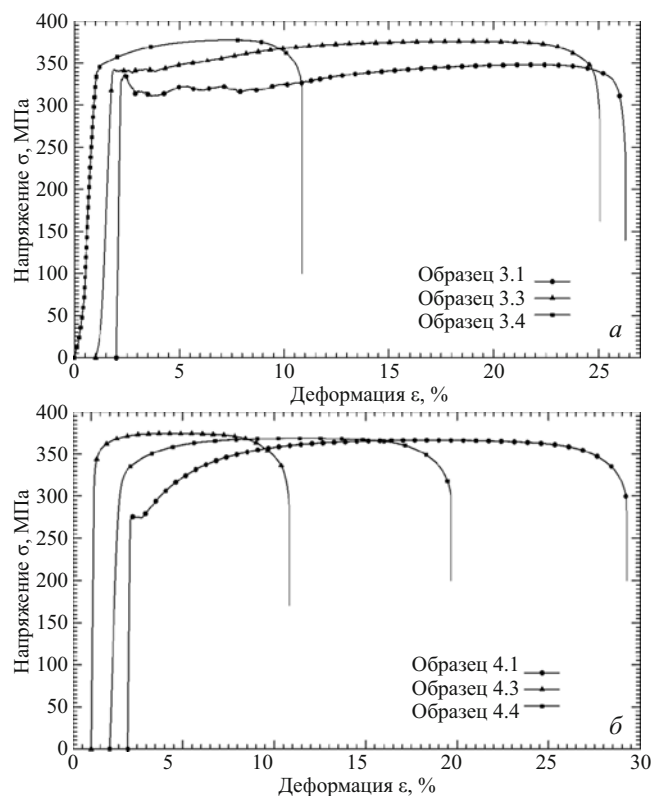


Рис. 5. Условные диаграммы деформирования стали: а — сталь 08Ю,  $t = 1,2$  мм; б — сталь 08ПС,  $t = 1,5$  мм

считать условными, поскольку они включают деформацию не только самого материала, но и гофр, их распрямление, так как гофры ориентированы перпендикулярно действующему усилию растяжения. Процесс выпрямления гофр продолжается вплоть до величины нагрузки, соответствующей временному сопротивлению разрыву. Соответственно, диаграммы деформирования материала поперечно гофрированных образцов по сравнению с плоскими были существенно вытянутыми, но похожими по очертанию.

Испытания стали толщиной 1,5 мм подтвердили динамику изменения механических характеристик, прослеживаемую на предыдущих толщинах. Понижение отношений  $\sigma_T/\sigma_B$  до 0,75, а также  $r/t$  до 12,67 привело к существенному приросту в угловых зонах (по сравнению с плоскими участками) предела текучести (на 26 – 27 %) и незначительному повышению сопротивления разрыву (на 3 %). Диаграммы деформирования угловых образцов также изменились, исчезла площадка текучести (см. рис. 5, б). Относительные удлинения — равномерное и конечное — уменьшились на 63 и 45 % соответственно.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили динамику изменения механических характеристик стали, прослеживаемую при увеличении толщины образца. Вместе с тем выявлено неравномерное распределение упрочнения по поперечному сечению профиля: упрочнению подвергаются угловые участки; поперечное гофрирование оказывает незначительное

влияние на механические характеристики материала гофрированных стенок и полки. Однако в арочном профиле в отличие от прямолинейного вследствие поперечного гофрирования происходит резкое изменение механических свойств материала в нижних углах. Диаграммы деформирования сталеобразцов, вырезанных из нижних углов арочных профилей, не имеют площадки текучести. Следует отметить, что при увеличении толщины до 1,5 мм происходит значительное снижение относительного удлинения: равномерно — с 15,4 до 5,7 % и конечного — с 24,3 до 13,5 %. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании, а именно, при выборе марки стали и назначении соответствующих механических характеристик в технических условиях на рассматриваемые конструкции или в проектной документации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айрумян Э. Л., Емелин Е. И., Барсков Д. П. Устойчивость оболочек из гофрированных стальных профилей / Промышленное строительство. 1990. № 10. С. 18 – 19.
2. Еремеев П. Г., Киселев Д. Б., Арменский М. Ю., Бурлай С. И. Натурные испытания фрагмента арочного свода из холодногнутого тонколистового стального профиля / Монтажные и специальные работы в строительстве. 2004. № 12. С. 5 – 8.
3. Липленко М. А., Айрумян Э. Л. Особенности работы бескаркасных арочных покрытий из стальных холодногнутого профилей / Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 6. С. 42 – 44.
4. Тришевский И. С., Клепанда В. В. Механические свойства гнутых профилей проката. — Киев: Техника, 1977. — 143 с.
5. ГОСТ 11701–87. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент. — М.: Издательство стандартов, 1993. — 10 с.
6. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. — М.: Стандартинформ, 2008. — 35 с.

## REFERENCES

1. Ayrumyan E. L., Emelin E. I., Barskov D. P. Ustoichivost' obolochek iz gofirovannykh stal'nykh profilei [Stability of corrugated profiles at shells] / Promyshl. Stroit. 1990. N 10. P. 18 – 19 [in Russian].
2. Eremeev P. G., Kiselev D. B., Armenskiy M. Yu., Burlay S. I. Naturnye ispytaniya fragmenta archnogo svoda iz kholodnognutyykh tonkolistovykh stal'nykh profilei [Test of natural fragment of arch roof of cold-formed steel profiles] / Montazh. Spets. Raboty Stroit. 2004. N 12. P. 5 – 8 [in Russian].
3. Liplenko M. A., Ayrumyan E. L. Osobennosti raboty beskarkasnykh archnykh pokrytii iz stal'nykh kholodnognutyykh profilei / Promyshl. Grazhd. Stroit. 2011. N 6. P. 42 – 44 [in Russian].
4. Trishevskii I. S., Klepanda V. V. Mekhanicheskie svoistva gnutyykh profilei prokata [Mechanical properties of cold-formed sections]. — Kiev: Tekhnika, 1977. — 143 p. [in Russian].
5. RF State Standard GOST 11701–87. Metally. Metody ispytaniia na rastyazhenie tonkikh listov i lent [Metals. Test method of tensile of thin sheets and strips]. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1993. — 10 p. [in Russian].
6. RF State Standard GOST 1497–84. Metally. Metody ispytaniia na rastyazhenie [Metals. Test Methods on Tensile]. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2008. — 35 p. [in Russian].

УДК 620.178

## СПОСОБ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПО ПАРАМЕТРАМ СЛЕДА МАЯТНИКОВОГО СКРАЙБИРОВАНИЯ<sup>1</sup>

© Б. Я. Мокрицкий<sup>2</sup>, Д. А. Пустовалов<sup>2</sup>, В. В. Алтухова<sup>2</sup>, П. А. Саблин<sup>2</sup>,  
Е. Г. Кравченко<sup>2</sup>, М. И. Дворник<sup>3</sup>, А. В. Зайцев<sup>3</sup>, С. А. Пячин<sup>3</sup>

*Статья поступила 2 февраля 2015 г.*

Предложен способ и получены результаты применения метода маятникового скрайбирования для качественной сравнительной экспресс-оценки физико-механических характеристик инструментальных и других материалов, а также эксплуатационных свойств инструмента, изготовленного из таких материалов. Показано, что существует взаимосвязь между указанными характеристиками и параметрами следа маятникового скрайбирования. Это позволяет существенно упростить и сократить затраты на оценку качества разрабатываемых новых материалов.

**Ключевые слова:** оценка свойств материалов; экспресс-метод; маятниковое скрайбирование.

Для оценки и сравнения физико-механических характеристик или эксплуатационных свойств нескольких

материалов еще на этапе их разработки обычно применяют метод измерения твердости (и микротвердости), который позволяет получить ее значение лишь для локального объема материала и не дает его интегрированной характеристики. Для таких задач предпочтительней использовать метод скрайбирования (царапания). Методология маятникового скрайбирования для сравнительной оценки обоснована [1 – 4] и

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке грантов № 2014/68 (код проекта 254) и № 9.251.2014/К Минобрнауки России.

<sup>2</sup> Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре, Россия; e-mail: boris@knastu.ru

<sup>3</sup> Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия; e-mail: infarest@infarest.khv.ru