

УДК 621.771.63

**Ю. А. ПЛЕСНЕЦОВ, С. А. МЕХ, А. Г. КРЮК****ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЧАСТКА ПЛАВНОГО ПЕРЕХОДА  
ПРИ ФОРМОВКЕ В ВАЛКАХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ С ОТБОРТОВКАМИ**

Профили с отбортовками широко применяются в автомобилестроении, вагоностроении, авиастроении, транспортном, химическом машиностроении. Объем их производства и потребления постоянно растет. Повышаются и требования к их качеству. Задача повышения технико-экономических показателей может быть решена при условии широкого внедрения высокопроизводительных процессов. Преимуществами профилирования по сравнению с прессованием, гибкой в штампах и другими технологическими процессами являются более высокая производительность, безотходность, возможность получения длинномерных деталей. Профили с отбортовками получили широчайшее распространение в силу большого разнообразия форм и типоразмеров. Получены графики зависимости утонения от радиуса места изгиба и угла подгибки. Установлено, что увеличение ширины стенки профиля приводит к уменьшению длины участка плавного перехода. Приведены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных влияния ширины полки профиля на длину участка плавного перехода. Установлено, что межклетевое расстояние профилегибочного стана оказывает влияние на длину участка плавного перехода – при увеличении межклетевого расстояния в два раза длина участка плавного перехода уменьшается на 2–5% для тонкостенных профилей. Выполненный анализ участка плавного перехода, позволяет гарантировать отсутствие переформовки заготовки, а также обеспечить сокращение количества технологических переходов.

**Ключевые слова:** профиль, гнутый, с отбортовками, участок, плавного, перехода, данные, экспериментальные.

Профілі з відборткуванням широко застосовуються в автомобілебудуванні, вагонобудуванні, авіабудуванні, транспортному, хімічному машинобудуванні. Обсяг їх виробництва та споживання постійно зростає. Підвищуються і вимоги до їх якості. Завдання підвищення техніко-економічних показників може бути вирішена за умови широкого впровадження високопродуктивних процесів. Перевагами профілювання в порівнянні з пресуванням, згинанням в штампах і іншими технологічними процесами – є більш висока продуктивність, безвідходність, можливість отримання довгомірних деталей. Профілі з відборткуванням отримали широке розповсюдження в силу великої різноманітності форм і типорозмірів. Отримано графіки залежності потоншення від радіуса місця згину і кута підгинання. Встановлено, що збільшення ширини стінки профілю призводить до зменшення довжини ділянки плавного переходу. Наведено результати зіставлення розрахункових і експериментальних даних впливу ширини полиці профілю на довжину ділянки плавного переходу. Встановлено, що міжкільтєва відстань профілезгинального стану впливає на довжину ділянки плавного переходу – при збільшенні міжкільтєвої відстані в два рази довжина ділянки плавного переходу зменшується на 2-5% для тонкостінних профілів. Виконаний аналіз ділянки плавного переходу, дозволяє гарантувати відсутність переформування заготовки, а також забезпечити скорочення кількості технологічних переходів.

**Ключові слова:** профіль, гнутий, з відборткуванням, ділянка, плавного, переходу, дані, експериментальні.

Profiles flare widely used in the automotive, railroad car, aircraft, transportation, chemical engineering. Volume of production and consumption is increasing. Go up and to their quality requirements. The task of raising the technical and economic indicators can be solved provided the widespread introduction of high-performance processes. The advantages of profiling in comparison with compression, flexible dies and in other technological processes is a high performance, non-waste, the possibility of long parts. Profiles flare received the widest distribution because of the large variety of shapes and sizes. Obtain plots of thinning of the radius of the bend location and angle hem. It is found that increasing the width of the profile wall reduces the smooth transition portion length. The results of the comparison of the calculated and experimental data, the effect of the section width of the shelf on the length of a smooth transition area. It is found that the distance between the stands of roll forming mill influences the length of the smooth transition section – as the distance between stands is twice the length of the smooth transition is reduced by 2-5% for thin-walled profiles. The analysis of a smooth transition area, ensures the absence of excessive deformation billet, and to decrease the number of technological transitions.

**Keywords:** profile, bent, flare, land, smooth, transition, data, experimental.

**Введение.** В последнее время в Украине наметилась устойчивая тенденция к применению все большего количества гнутых металлических профилей практически во всех отраслях экономики страны. За последние 10 лет увеличились не только объемы производства гнутых профилей, но и существенно расширился их сортамент. В общем сортаменте гнутых профилей более 50% имеют отбортованные элементы. С учетом изложенного, работа, направленная на совершенствование технологии их производства, является важной и актуальной.

**Современное состояние производства и применения профилей с отбортовками.** Профили с отбортовками широко применяются в автомобилестроении, вагоностроении, авиастроении, транспортном, химическом

машиностроении [1–3]. Объем их производства и потребления постоянно растет. Повышаются и требования к их качеству. Задача повышения технико-экономических показателей может быть решена при условии широкого внедрения высокопроизводительных процессов. Преимуществами профилирования по сравнению с прессованием, гибкой в штампах и другими технологическими процессами являются более высокая производительность, безотходность, возможность получения длинномерных деталей. Профили с отбортовками получили широчайшее распространение в силу большого разнообразия форм и типоразмеров.

Одним из самых крупных потребителей несимметричных гнутых профилей различного сечения является отрасль автомобилестроение (рис. 1)

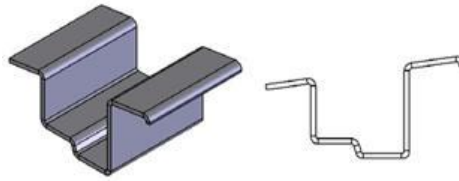


Рис. 1 – Направляющая двери легкового автомобиля

В автомобилестроении сортамент профилей с отбортовками является довольно значительным (пороги, окантовки дверей и окон, соединения панельных дверей, каркас и планки сидений, обоймы уплотнителя поворотного стекла, сточный желоб крыши и его облицовка, уплотнитель фланца задней двери, направляющие подлокотника, молдинги и многие другие детали, применяемые во внутренней и внешней отделки автомобилей). Внедрения технологий профилирования в данной отрасли осложняется тем, что к изготовленным профилированием деталям предъявляются жесткие требования по допускам их изготовления.

Помимо производства автомобилей, профили с отбортовками используются также в вагоностроении (рис. 2). Гнутые профили с отбортовками позволяют получать, наряду с известными, совершенно новые конструктивные решения по отдельным узлам и элементам вагонов со снижением трудовых затрат на их изготовление при высоких прочностных характеристиках. Около 25% массы в конструкции четырехосных цельнометаллических вагонов составляют гнутые профили, что позволяет создать полувагон с высокими эксплуатационными качествами. Изготовление вагонов из гнутых профилей позволяет добиться снижения его стоимости до 10%.

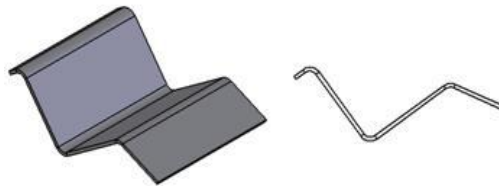


Рис. 2 – Профиль конструкции обвязки четырехосных цельнометаллических вагонов

В авиастроении профилирование является одним из путей, которые позволяют повысить эксплуатационные характеристики изделий. Помимо того, использование гнутых профилей и панелей, подкрепленных ими, обеспечивает снижения массы и повышения ресурса, как отдельных частей, так и всего летательного

аппарата. В настоящее время в авиастроении используется порядка 300 типоразмеров гнутых профилей из авиационных сплавов разнообразных поперечных сечений, приведенных в табл. 1. Определенную часть в них занимают гнутые профили с отбортовками.

Таблица 1 – Применение гнутых профилей в авиастроении

| Тип профиля | Количество типоразмеров | Годовой объем, погонных м. |
|-------------|-------------------------|----------------------------|
| Уголок      | 155                     | 316000                     |
| Зетовый     | 37                      | 323500                     |
| Швеллер     | 56                      | 20600                      |
| Корытный    | 47                      | 474200                     |
| Специальный | 5                       | 2100                       |

Значительная роль играют гнутые профили с отбортовками в строительной индустрии. Большое количество этих профилей используется в качестве коньков крыш, противовеетровых уголков, воронок,

подоконников, дождевых стоков, а также соединительных элементов, деталей герметизации, снегозащиты и тому подобное (рис. 3).

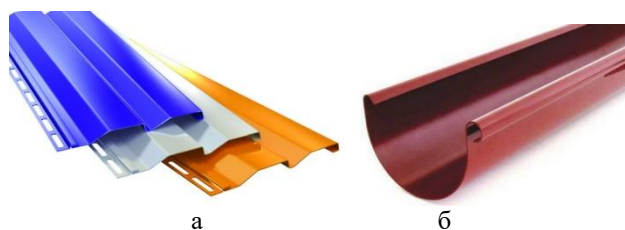


Рис. 3 – Гнутые профили с отбортовками в строительной индустрии:  
а – сайдинг; б – водосточный желоб

Широкое применение также нашли гнутые профили с отбортовками в производстве стальных входных дверей, как в каркасе дверного полотна, так и в коробке дверного блока. Коробка дверного блока может изготавливаться из уголка, профильной трубы и гнутого профиля с отбортовками. Преимущество применения в коробке гнутого профиля с отбортовками заключается в обеспечении сложного контура прилегания обшивочного листа полотна к коробке. Применение гнутых профилей в каркасе дверного полотна позволяет добиться следующих преимуществ: увеличить жесткость двери в 3 раза; создать дверь большей толщины при минимальном увеличении веса; установить два контура уплотнения по всему периметру двери, что улучшит ее теплоизоляционные и шумоизоляционные свойства и герметичность. Чем

сложнее геометрическая форма гнутого профиля, образующего в конструкции сложные замкнутые контуры, и больше толщина материала, тем жестче и прочнее получается конечное изделие. Дверные коробки из гнутого профиля с отбортовками (рис. 4), обеспечивая требуемую жесткость конструкции, позволяют «утопить» полотно двери в коробку, в отличие от коробок, изготовленных из профильной трубы или уголка. Это улучшает внешний вид изделий, повышает их устойчивость к взлому, позволяет создать два контура прилегания с особой геометрией. При установке в контуры лепестковых или трубчатых уплотнителей, максимально улучшаются теплоизоляционные и шумоизоляционные свойства и герметичность дверей.



Рис. 4 – Дверная коробка из гнутого профиля с отбортовками

Гнутые профили с отбортовками используются также для армирования металлопластиковых окон (рис. 5). Армирующий профиль – металлический профиль, проходящий внутри пластикового

оконного профиля для придания последнему большей жесткости. К армирующему профилю крепятся наружные петли и различные внутренние механизмы фурнитуры.



Рис. 5 – Гнутый профиль с отбортовкой для армирования металлопластиковых окон

Несимметричные гнутые профили (рис. 6) нашли применение за последнее десятилетие также и в производстве мебели. Чаще всего профили используются в качестве несущих, функциональных или декоративных элементов в комбинации с

деревом для производства столов, кроватей, шкафов-купе. Однако, помимо этого, изготавливаются также различные виды деталей торгового оборудования для современных торговых комплексов.

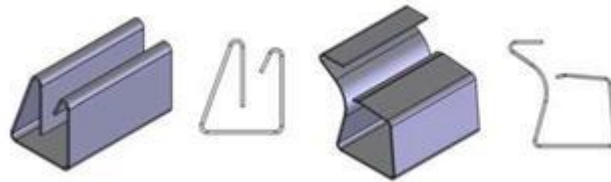


Рис. 6 – Гнутые профили с отбортовками, применяемые в мебельном производстве

Широкий сортимент гнутых профилей с отбортовками используется во внутренней отделке помещений. Домашние интерьеры предполагают использование гибких, эстетичных конструкций для защиты и укрепления поверхностей. Однако на открытых участках и в местах с высокой проходимостью необходимы нержавеющие профили, изготавливаемые из стали (рис. 7). Высокая механическая устойчивость предполагает

использование металлических деталей, которые укрепляют конструкцию. Это может понадобиться в следующих случаях: облицовка фасадов камнем, керамической плиткой, организация декоративных вставок; облицовка ступеней лестниц в местах с высокой проходимостью, там, где особенно требуется защита от стирания и механических повреждений; изготовление сложных подвесных многоуровневых конструкций.



Рис. 7 – Профиль для отделки

**Цель работы** – анализ особенностей формообразования металла на участке плавного перехода при валковой формовке профилей с отбортовками.

**Метод исследований:** тензометрия.

**Результаты работы.** Получены графики зависимости утонения, от радиуса места изгиба  $r$  и угла подгибки, приведены на рис. 8.

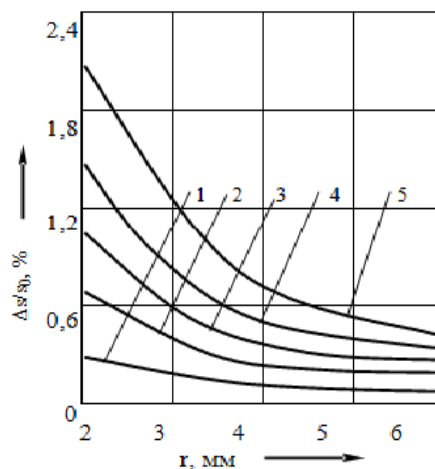


Рис. 8 – Зависимость утонения  $\Delta$  от радиуса места изгиба  $r$  и угла подгибки  $\alpha$ :  
1, 2, 3, 4, 5 –  $\alpha=5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$

Сопоставление результатов теоретического анализа с экспериментальными данными по утонению мест изгиба на первых переходах показывает, что расхождение не превышает 2%.

Особенностью деформирования заготовки в первых переходах состоит в том, что происходит монотонное изменение радиуса ее кривизны от бесконечности до конечного значения на готовом профиле. Вместе с тем, полученные формулы не учитывают упрочнение, которое на изменение

толщины влияет незначительно. Однако упрочнение следует учитывать при определении минимально допустимого радиуса изгиба.

Результаты исследований швеллерных профилей с шириной стенки  $C=50$  мм и  $C=100$  мм из стали 08 кп толщиной 1 мм при различных углах подгибки приведены на рис. 9. Как видно из графиков, увеличение ширины стенки профиля приводит к уменьшению длины участка плавного перехода.

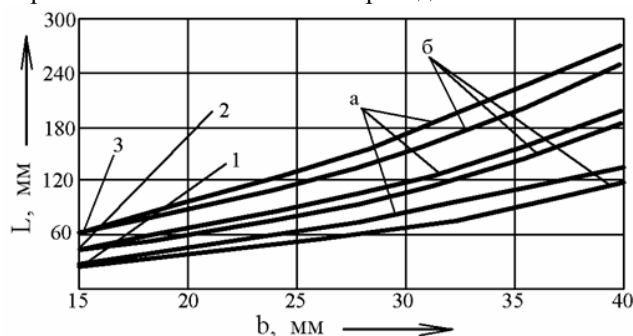


Рис. 9 – Зависимость участка плавного перехода от ширины полки:  
1, 2, 3 – углы подгибки, равные  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $45^\circ$ , соответственно;  
а –  $C=50$  мм; б –  $C=100$  мм

На рис. 10 приведены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных

данных влияния ширины полки  $b$  на длину участка плавного перехода  $L$  при углах подгибки  $15^\circ$  и  $30^\circ$

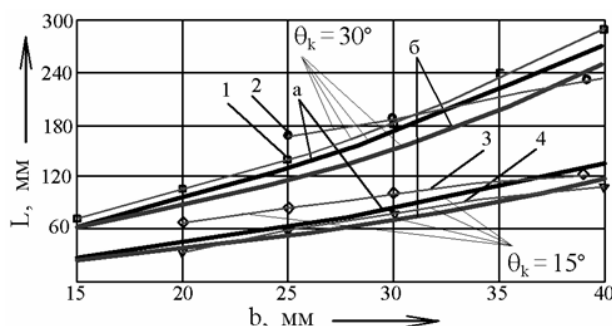


Рис. 10 – Сопоставление расчетных и экспериментальных данных:  
экспериментальные данные: 1 – сталь 08кп;  $S = 0,6$  мм;  $C = 0$ ;  
2, 3 – сталь 10;  $S = 0,55$  мм;  $C = 0$ ; 4 – сталь 08кп;  $S = 0,6$  мм;  $C = 110$  мм;  
расчетные данные: а – сталь 08кп;  $S = 0,55$  мм;  $C = 50$  мм;  
б – сталь 08кп;  $S = 0,55$  мм;  $C = 100$  мм

Анализ результатов показывает, что сходимость теоретических и опытных данных достаточна для их использования в инженерных расчетах. Экспериментальные данные получены с применением тензометрии (датчики наклеивались с двух сторон полосы учета влияния изгиба полки). Сравнение длины участка плавного перехода для различных технологий не всегда возможно, поскольку схемы формовки, катающие диаметры валков и их конструкция, а также режимы формообразования могут отличаться, оказывая тем

самым существенное влияние на исследуемый параметр.

Межклетевое расстояние профилегибочного стана оказывает влияние на длину участка плавного перехода (при увеличении межклетевого расстояния в два раза длина участка плавного перехода уменьшается на 2–5% для тонкостенных профилей). Это связано с прогибом не только стенки профиля, но и полок профиля в указанном промежутке. Как видно на рис. 9 и рис. 10, длина участка плавного перехода профилей с широкой стенкой несколько

меньше, чем при валковой формовке профилей с узкой стенкой.

Используя результаты теоретического анализа, можно получить количественную зависимость между углами подгибки и шириной стенки профиля.

Результаты расчетов приведены на рис. 11 и рис. 12. Очевидно, что увеличение углов подгибки в ряде переходов позволит уменьшить число переходов и использовать профилировочные станы с небольшим числом клетей.

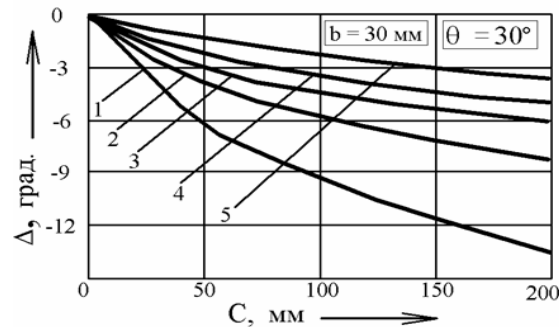


Рис. 11 – Зависимость углов подгибки от ширины стенки профиля:  
1, 2, 3, 4, 5 – толщина заготовки  $S=0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5$  мм, соответственно

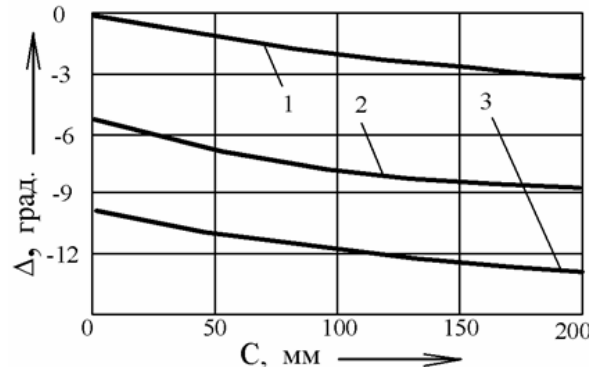


Рис. 12 – Зависимость углов подгибки от ширины стенки профиля  $C$ :  
1, 2, 3 – углы подгибки, равные  $15^\circ, 30^\circ$  и  $45^\circ$ , соответственно

При формовке многоэлементных профилей, подгибаемая полка обладает большей жесткостью за счет «надстройки», чем гладкая полка. В этом случае необходимо учитывать жесткость элементов, которые несет основная полка. Учет изменения жесткости полки можно производить с использованием метода «локальных жесткостей», по которому подсчитывают характеристики жесткости соответствующего участка заготовки на предшествующем переходе, а затем определяется толщина эквивалентной гладкой полки той же ширины. Дальнейшие технологические расчеты с использованием предлагаемой модели не отличаются от описанной выше процедуры, однако для некоторых видов потери устойчивости полузакрытых профилей необходимо экспериментальное подтверждение теоретических результатов.

**Выводы.** Выполненный анализ участка плавного перехода, позволяет гарантировать отсутствие переформовки заготовки путем

ограничения углов подгибки полок с отбортовками, а также обеспечивает сокращение количества технологических переходов.

#### Список литературы

1. И.С. Тришевский. Калибровка валков для производства гнутых профилей проката / И.С. Тришевский, В.И. Мирошниченко, В.П. Стукалов. – Киев: Техника, 1980. – 168 с.
2. И.С. Тришевский. Производство и применение гнутых профилей проката: Справочник. – Москва: Металлургия, 1975. 536 с.
3. И.С. Тришевский. Производство гнутых профилей (оборудование и технология) / И.С. Тришевский, А. Б. Юрченко, В. С. Марын. – Москва: Металлургия, 1982. 384 с.

#### Bibliography (transliterated)

- 1.I.S. Trishevskiy. Kalibrovka valkov dlya proizvodstva gnutyyh profiley prokata / I.S. Trishevskiy, V.I. Miroshnichenko, V.P. Stukalov. – Kiev: Tehnika, 1980. – 168 p.
- 2.I.S. Trishevskiy. Proizvodstvo i primeneniye gnutyyh profiley prokata: Spravochnik. – Moscow: Metallurgiya, 1975. 536 p.
- 3.I.S. Trishevskiy. Proizvodstvo gnutyyh profiley (oborudovaniye i tehnologiya) / I.S. Trishevskiy, A. B. Yurchenko, V. S. Marin. – Moscow Metallurgiya, 1982. 384 p.

Поступила (received) 15.11.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Экспериментальные исследования участка плавного перехода при формовке в валках гнутых профилей с отбортовками / Ю. А. Плеснецов, С. А. Мех, А. Г. Крюк** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 38(1210). – С. 63–69. – Бібліогр.: 3 назви. – ISSN 2519-2671

**Експериментальні дослідження ділянки плавного переходу при формуванні в валках гнутих профілів з відборткуваннями / Ю. О. Плеснецов, С. О. Мех, А. Г. Крюк** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 38(1210). – С. 63–69. – Бібліогр.: 3 назви. – ISSN 2519-2671

**Experimental investigations of the smooth transition when forming rolls in roll-formed shapes with flare / Yu.A. Plesnetsov, S.A. Mekh, A.G. Kryuk** // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 38 (1210). – P. 63–69. – Bibliogr.: 3 – ISSN 2519-2671

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Плеснецов Юрий Александрович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, тел.: (057) 707-60-40, e-mail: plesnetsov@gmail.com

**Плеснецов Юрій Олександрович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри «Обработка металів тиском» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002, тел.: (057) 707-60-40, e-mail: plesnetsov@gmail.com

**Plesnetsov Yuri** – Ph. D – Senior Research Fellow, Head of the Department «Metal Forming» of the National Technical University «Kharkiv polytechnic institute»

**Мех Сергей Александрович** – магистрант кафедры «Обработка металлов давлением» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, тел.: (066) 315-93-21, e-mail: sergey.meh.9413@mail.ru

**Мех Сергій Олександрович** – магістрант кафедри «Обработка металів тиском» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002, тел.: (066) 315-93-21, e-mail: sergey.meh.9413@mail.ru

**Mekh Sergey** – graduate student of the Department «Metal Forming» of the National Technical University «Kharkiv polytechnic institute», 21, Frunze str., 61002, Kharkiv, Ukraine

**Крюк Анатолий Григорьевич** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Естественные науки и технологии» Харьковского национального экономического университета имени Семена Кузнецова, г. Харьков; тел.: (057) 7020265 (доп. 328); e-mail: kafttech@hneu.edu.ua.

**Крюк Анатолій Григорович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Природничі науки та технології» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнецова, м. Харків; тел.: (057) 7020265 (доп. 328); e-mail: kafttech@hneu.edu.ua.

**Kryuk Anatoliy Grigorievich** – PhD, professor of "Science and Technology" Kharkiv National Economic University named after Semen Kuznets on Kharkiv; tel. (057) 7020265 (dop. 328); e-mail: kafttech@hneu.edu.ua