

Общий годовой баланс составит затраты на закупку крепежа – экономия материальных средств за дополнительные дни к отпуску – экономия материальных средств от доплат за вредность – экономия электроэнергии.

**Заключение.** В статье содержатся актуальные и полезные для ознакомления специалистов сведения о технологии и оборудовании сборки рам шасси грузовых автомобилей методом холодной клепки (лонжеронов и поперечин, различных кронштейнов и др. элементов).

Материалы являются обобщением передового опыта зарубежного и отечественного автомобилестроения, а также, внедренных в серийное производство рам грузовых автомобилей Минского автомобильного завода, результатов собственных исследований авторов статьи. Замена ранее применяемой горячей клепки на холодную позволила увеличить ресурс в километрах пробега не менее, чем в 3 раза при вероятности неразрушения 0,95. Применение предложенного метода позволило уменьшить количество дорогостоящих болтовых соединений высокопрочными болтами импортного производства.

При внедрении холодной клепки рам дополнительные затраты на одну раму компенсируются следующими факторами: улучшением потребительских свойств рамы (прочность, долговечность, ремонтпригодность); улучшение условий труда клепальщиков; сокращение затрат на устранение брака за счет улучшения ремонтпригодности.

Полученные результаты в данной области и могут быть использованы для развития исследований по конструкторско-технологическому обеспечению надежности на стадии создания сборных несущих конструкций, методологии их ресурсного проектирования, что является необходимым условием повышения качества и конкурентоспособности грузовой автомобильной техники [1–3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капуста П. П. Учет технологий изготовления и упрочнения деталей при ресурсном проектировании машин заданной надежности// Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. научн. трудов под ред. П. С. Гурченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – С. 154–162.

2. Капуста П. П., Верес А. И., Слабко И. А. Экспериментальные исследования сопротивления усталости и разработка новой сборной конструкции рамы двухосного магистрального автомобиля-тягача с повышенным ресурсом// Грузовик. – 2011, № 5. – С. 2, 3, 40–44.

3. Капуста П. П. Принципы обеспечения надежности и ресурсного проектирования несущих систем мобильных машин// Грузовик. – 2013, № 3. – С. 24–31.

*Поступила 18.07.2022*

УДК 620.178; УДК 621. 81: 621 – 192; УДК 681.3.06:629.114.2

Капуста П. П.<sup>1</sup>, Горко Е. А.<sup>2</sup>, Старостин Ю. А.<sup>2</sup>, Казерский А. А.<sup>1,2</sup>, Францкевич А. И.<sup>2</sup>

### ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ГНУТЫХ ДЕТАЛЕЙ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ШАССИ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*1. Белорусский национальный технический университет*

*2. Минский завод колесных тягачей,  
Минск, Беларусь*

*Охарактеризованы основные технологические задачи обработки материалов давлением при производстве несущих конструкций большегрузных автомобилей: расширение области применения путем замены литых и кованных деталей; широкое распространение благодаря простой конструкции инструмента; снижение расходов материала путем применения точных заготовок (без дальнейшей механической обработки деталей),*

рационального раскроя; увеличение производительности путем механизации и автоматизации процессов.

Рассмотрены оборудование и инструмент, применяемый для производства несущих конструкций большегрузных автомобилей. Использованная информация по характеристикам оборудования и применяемых материалов получена на основании анализа фирм производителей. В статье содержатся актуальные и полезные сведения о технологии и оборудовании для производства холодногнутых деталей (лонжеронов и поперечин рам, различных кронштейнов, элементов ведущих мостов, осей, платформ и др.) шасси большегрузных автомобилей. Материалы являются обобщением передового опыта зарубежного и отечественного автомобилестроения в данной области и могут быть полезны для развития исследований по конструкторско-технологическому обеспечению надежности на стадии создания сборных несущих конструкций, методологии их ресурсного проектирования, что является необходимым условием повышения качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей.

**Технологические задачи обработки материалов давлением при производстве несущих конструкций большегрузных автомобилей.** Обработка материалов давлением широко применяется в машиностроительной, приборостроительной и других отраслях промышленности [1–5]. Наибольшее распространение обработка материалов давлением получила в крупносерийном и массовом производстве, где большие масштабы выпуска позволяют применять более совершенные, хотя и более сложные и дорогие технологии.

Наряду с этим, в настоящее время обработка материалов давлением применяется в мелкосерийном и даже единичном производстве.

Применительно к обработке материалов давлением при производстве несущих конструкций автомобилей имеются следующие задачи:

- расширение области применения путем замены литых и кованных деталей;
- широкое распространение благодаря простой конструкции инструмента;
- снижение расходов материала путем применения точных заготовок (без дальнейшей механической обработки деталей), рационального раскроя;
- увеличение производительности путем механизации и автоматизации процессов.

Толщина применяемого при изготовлении несущих конструкций материала достигает до 30 мм. Замена литых и кованных деталей дает значительные технико-экономические преимущества: снижение веса деталей от 25 до 50 %, уменьшение расхода металла от 30 до 70 %, снижение трудоемкости от 50 до 80 %.

Увеличение прочности и жесткости деталей достигается:

- благодаря более высоким механическим свойствам исходного, в большинстве случаев горячекатаного листового металла;
- в результате упрочнения металла при холодной пластической деформации;
- вследствие более целесообразного распределения металла по сечению профиля;
- обработкой материалов давлением в производстве несущих конструкций автомобилей пытаются добиться основной цели: получить полностью законченную деталь, не требующую дальнейшей обработки резанием.

**Оборудование и инструмент, применяемый для производства несущих конструкций большегрузных автомобилей.** Комплекс высокотехнологичного оборудования для производства лонжеронов автомобильных шасси содержит набор основного и вспомогательного оборудования, равно как и инструментов, и позволяет производить выпуск широкого ассортимента лонжеронов для транспортных средств, изготавливаемых на МЗКТ. Линия для производства лонжерона представляет собой замкнутый цикл.

Линия состоит из следующих устройств:

- станок для дробеметной очистки листов – RA 1600x500, мощность турбин 4 x 15 кВт;

- машина для обработки продольной кромки листа перед сваркой – «G. B.C. IndustrialTools» CH 15;
- комплекс лазерного раскроя листа – LVD IMPULS 12030;
- два листогибочных прессы в тандемном исполнении – рабочая длина 13100 мм, LVD PPEBH 400/40 и LVD PPEBH 1000/91;
- роботизированная сварочная система – Varstroj Almega AX-V4LAP;
- специальный сверлильный станок – MZOR MS21GMF2-14.

**Станок для дробеметной очистки GOSTOLR 1600x500 (рис. 1).** Основные технические характеристики: максимальная ширина листов – 1600 мм; мин. – макс. длина листов – 3–10 м; максимальная ширина профилей – 1,000 мм; максимальная высота профилей – 400 мм; скорость роликового транспортера – 0,3–2 м/мин; максимальная нагрузка на роликовый транспортер 780 кг/м; минимальная толщина стали, min: 6 (5) мм. Более тонкие листы обрабатываются дробеметной очисткой на суппортном каркасе.

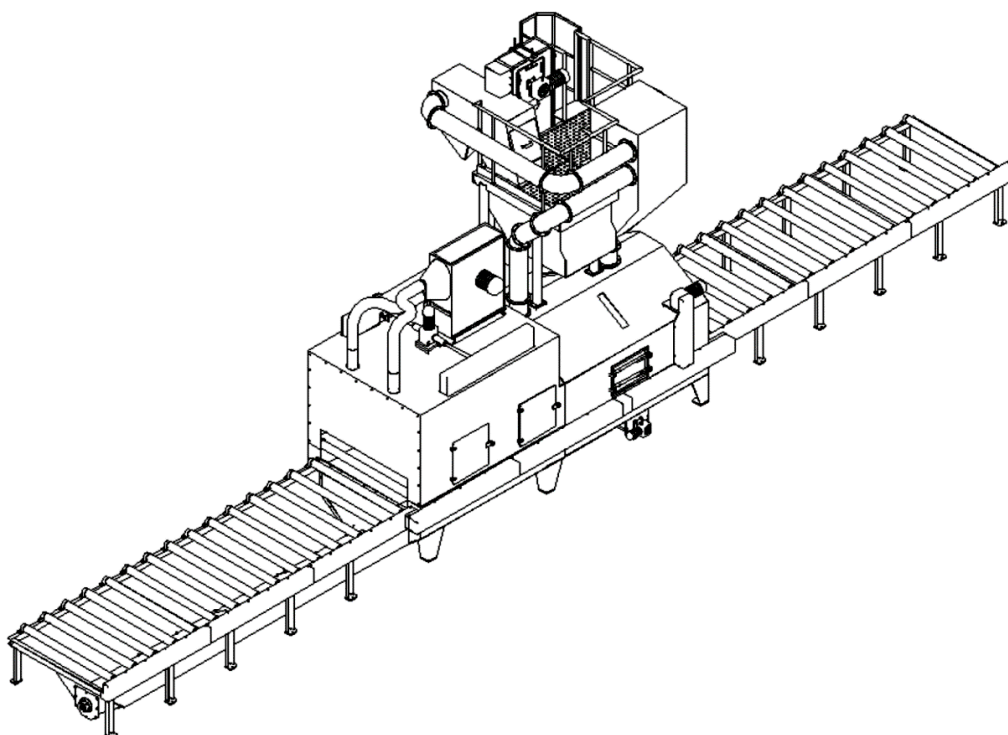


Рис. 1. Станок для дробеметной очистки листового металла R 1600 x 500 «GOSTOLTST»

*Ключевые слова:*

*Машина для обработки продольной кромки листа перед сваркой (рис. 2).*

Основные технические характеристики: скорость обработки – 1,5/3,0 м/мин; направление обработки – слева/справа; толщина листового металла – 6–8 мм; угол получаемой фаски 22° 30', 30°, 37° 30', 45°, 55°.

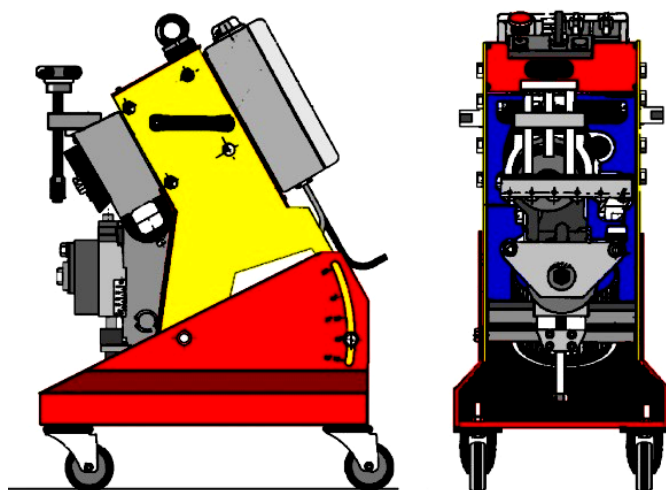


Рис. 2. Машина для обработки продольной кромки листа перед сваркой «G. B.C. Industrial Tools» CH 15

Размеры фаски (рис. 3) в зависимости от толщины материала представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Длина кромки в зависимости от угла, срезаемой фаски

$\alpha, ^\circ$	L, мм
22° 30'	18
30°	18
37° 30'	17
45°	16
55°	14

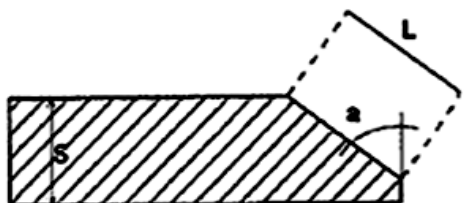


Рис. 3. Параметры фаски

Комплекс лазерного раскроя листа – LVDIMPULS 12030. Резка отдельных частей лонжерона и усилителей выполняется на устройстве лазерной резки. Вырезаются все контуры, пазы и отверстия за исключением отверстий, которые сверлятся после сварки или после сборки лонжеронов в шасси, или предназначены под нарезку резьбы.

Основные технические характеристики: максимальные размеры листа: 3100 × 12500 мм; перемещение оси X: 3150 мм; перемещение оси Y: 4050 мм; перемещение оси Z: 280 мм; максимальная скорость позиционирования: по оси X – 60 м/мин; по оси Y – 84 м/мин; по оси Z – 24 м/мин; точность повторения: ± 0,02 мм; точность позиционирования: ± 0,05 мм/м; используемый лазерный газ: смесь He (гелий), N<sub>2</sub> (азот); режущие газы: CO<sub>2</sub> (двуокись углерода); O<sub>2</sub> (кислород) или N<sub>2</sub> (азот); или сжатый воздух. Тип лазера: GE-FanucRFCO<sub>2</sub> лазер. Система определения положения листа: Laser-eye (Лазерный-глаз).

*Тандем листогибочных прессов LVDPPEBH 400/40 и LVDPPEBH 1000/91*

Основные технические характеристики:	ПРЕВ-Н 1000/91	ПРЕВ-Н400/40
Рабочее усилие, т	1000	400
Рабочая длина, мм	9 100	4 000
Расстояние между стойками, мм	8 050	3 150
Ход балки, мм	600	600
Точность угла гибки,	$\pm 15$	$\pm 15$
Скорость подхода, мм/с	80	100
Рабочая скорость, мм/с	8,5	11
Скорость возврата, мм/м	85	120
Ширина стола, мм	300	300

*Инструментальная оснастка*

*Матрицы:*

V50\_78\_130 – Одноручьевая матрица с раскрытием 50 мм, углом раскрытия 78°, высотой 130 мм, длина секции 508 мм.

V60\_78\_130 – Одноручьевая матрица с раскрытием 50 мм, углом раскрытия 78°, высотой 130 мм, длина секции 508 мм.

V80\_78\_130 – Одноручьевая матрица с раскрытием 50 мм, углом раскрытия 78°, высотой 130 мм, длина секции 508 мм.

*Пуансоны:*

R30\_R7 – пуансон радиусом 7 мм, длинна секции 508 мм.

R30\_R10 – пуансон радиусом 10 мм, длинна секции 508 мм.

R30\_R16 – пуансон радиусом 16 мм, длинна секции 508 мм.

R30\_R24 – пуансон радиусом 24 мм, длинна секции 508 мм.

Общий вид тандема листогибочных прессов представлен на рис. 4.

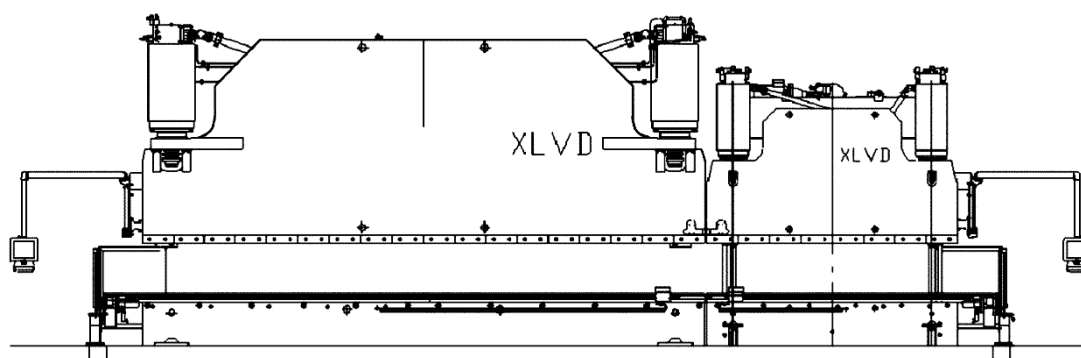


Рис. 4. Тандем листогибочных прессов LVD ПРЕВН 400/40 и LVD ПРЕВН 1000/91

*Роботизированная сварочная система (PCC) VarstrojAlmegaAX-V4LAP (рис. 5).* Система состоит из следующих элементов: робот-манипулятор AX V4L AP; роботизированный контроль AX-C (на базе ПК); пульт программирования (удобный для пользователей); пульт управления. Основные характеристики робота-манипулятора AX V4L AP: кол-во осей – 6; воспроизводимость –  $\pm 0,1$  мм; датчик положения – абсолютный датчик; рабочая область –  $6,53 \text{ м}^2 \times 340^\circ / 2008 \text{ мм}$ .

Общий вид сварочной системы представлен на рис. 5.

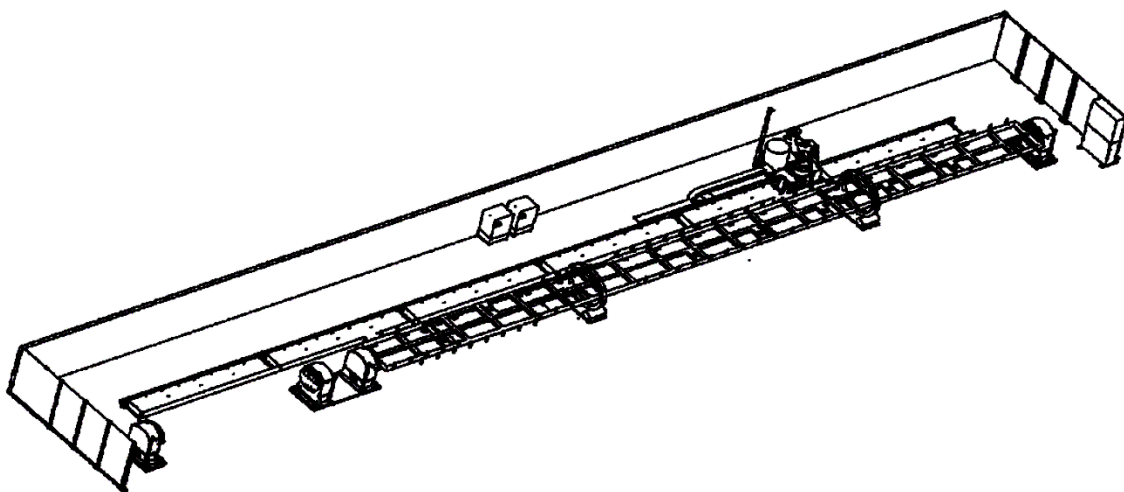


Рис. 5. Роботизированная сварочная система

*Продольно сверлильно-фрезерный станок МС21ГМФ2-14. Общий вид станка представлен на рис. 6.*

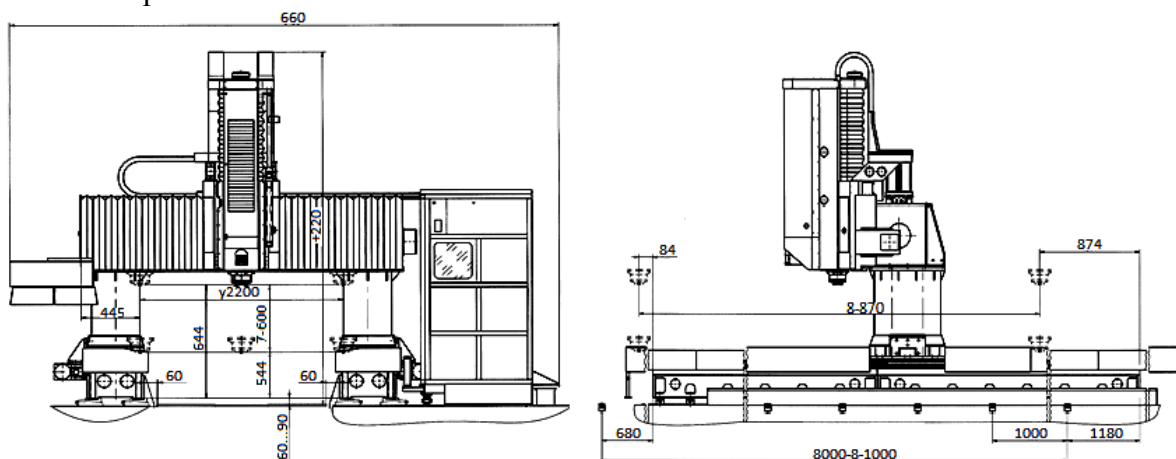


Рис. 6. Продольно сверлильно-фрезерный станок МС21ГМФ2-14

**Описание технологического процесса гибки деталей несущих конструкций большегрузных автомобилей. Дробеметная очистка.** Непрерывной дробеметной очисткой стальной лист очищается от примесей, таких как жиры, любые остатки коррозионного слоя и окалины, которые возникают при прокатке и хранении. Поверхность стального листа после очистки должна быть яркая и шероховатая. Таким образом, очищенный стальной лист отлично подходит для лазерного раскроя, а сварка выполняется легче и быстрее, без оксидных включений в швах. Шероховатая поверхность, образовавшаяся после дробеметной очистки, повышает прочность сцепления наносимых антикоррозионных покрытий.

Качество визуальной чистоты поверхности определяется на основе шведского стандарта SIS 05 59 00–1967, обозначаемое четырьмя степенями подготовки поверхности, то есть:

- Sa 1 легкая струйная очистка – при осмотре без увеличения поверхность должна быть свободной от видимых: масла, смазки и грязи, а также от слабопристающих: окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц;

- Sa 2 тщательная струйная очистка – широко известная как заводская струйная очистка, низшая к «Sa» 2 ½;

– Sa 2 ½ очень тщательная струйная очистка – любые оставшиеся следы загрязнений должны выглядеть только как легкое окрашивание в виде пятен или полос, низшая к «Sa» 3;  
– Sa 3 струйная очистка до визуально чистой стали – при осмотре без увеличения поверхность должна быть свободной от видимых: масла, смазки и грязи, а также от прокатной окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц, должна иметь однородную металлическую окраску.

Чистота поверхности после дробеметной очистки зависит от поверхности исходного листа.

Описываются четыре степени ржавчины, обозначаемые соответственно A, B, C и D: A – поверхность стали, покрытая в большой степени прочно прилегающей прокатной окалиной, но почти не имеющая ржавчину; B – поверхность стали, начавшая ржаветь и с которой начинает отставать прокатная окалина; C – поверхность стали, с которой прокатная окалина исчезла в результате ржавления или с которой она может быть удалена, но на которой наблюдается некоторый питтинг при нормальном обозрении; D – поверхность стали, с которой прокатная окалина исчезла в результате ржавления и на которой наблюдается общий питтинг при нормальном обозрении.

Требуемый по ISO 8501–1:1988(p) класс чистоты Sa2 (Sa2.5, Sa3) достигается при: скорости подачи стального листа 1,2–1,5 м/мин; потоке гранул 850 кг/мин и использовании 60 % гранул из абразивного материала  $d = 0,84$  и 40 % гранул из дробимого материала  $d = 1,19$ .

*Подготовка сварных швов.* В технологическом процессе предусматривается стыковой шов / контактная стыковая сварка (продление) листа  $2 \times 6000$  мм и  $9000 + 3200$  мм, длиной до 12 200 мм.

На предварительно вырезанных частях основных профилей, а также на усилителях необходимо подготовить безопасные края.

Процесс проводится на рабочем месте перед комплексом для лазерного раскроя листового материала. Предусматривается сварка по MAG методу двухсторонним швом (основной и корневой швы) с дополнительной обработкой кромки швов ручным шлифовальным станком и тарельчатым шлифовальным кругом.

Для подготовки продольных кромок используется машина для обработки кромки листа CH 15 («G. V.C.IndustrialTools»).

*Лазерный раскрой листа. Технологические параметры резки.* Технологические параметры резки ранее были протестированы на устройстве для лазерного раскроя листа IMPULS\_125/30 на оригинальном материале на заводе-изготовителе оборудования. Параметры были введены в интегрированное программное обеспечение для лазерной резки CADMAN-L, с тем чтобы результаты моделирования времени соответствовал и фактическому времени резки.

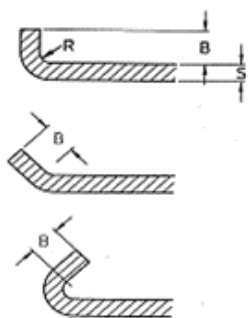
*Резка.* На рабочий стол устройства для лазерного раскроя листа помещаются листы, которые предварительно подготовлены для раскроя. Лист должен быть ровным и предварительно очищенным. В случае, если лист пыльный или жирный, то его надо заранее очистить. Важно точное позиционирование раскройного листа на рабочий стол.

На устройстве для лазерного раскроя листа вырезаются компоненты лонжерона с определенными технологическими вырезами и отверстиями. При написании программы для раскроя листа необходимо учитывать место наложения сварного шва, т. е. место соединения металлических листов автоматической стыковой сваркой. Необходимо принять во внимание также пересечение (отклонение) сварных швов при усилителях.

Станок имеет два рабочего места и позволяет производить непрерывную резку. Пока на одном рабочем столе выполняется вырезка – на другом происходит замена листов.

*Гибка деталей рам и других несущих конструкций.* Основные геометрические характеристики при гибке (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Размер минимальной отгибаемой полки (В) в зависимости от угла гiba ( $\alpha$ ) и раскрытия матрицы (V)



$\alpha$	B
165°	$0,58 \times V$
135°	$0,60 \times V$
120°	$0,62 \times V$
90°	$0,65 \times V$
60°	$0,80 \times V$
45°	$1,00 \times V$
30°	$1,30 \times V$

Таблица 3 – Параметры отгибаемой полки (B) в зависимости от раскрытия матрицы (V)

$\alpha$	B		
V	50	60	80
165°	42,5	51,0	68,0
135°	30,0	36,0	48,0
120°	31,0	37,2	49,6
90°	32,5	39,0	52,0
60°	40,0	48,0	64,0
45°	50,0	60,0	80,0
30°	65,0	78,0	104,0

Технологический расчет усилия при гибке:

$$P = \frac{1,42 \cdot L \cdot T \cdot S^2}{1000 \cdot V}$$

где  $P$  – усилие гибки, кН;

$L$  – длина линии гiba, мм;

$T$  – предел прочности на растяжение, МПа;

$S$  – толщина материала, мм;

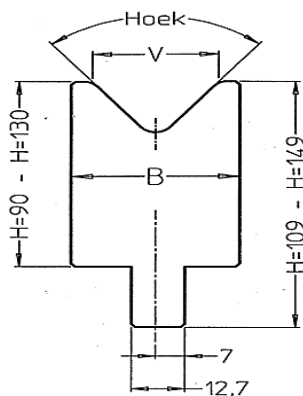
$V$  – раскрытие матрицы, мм.

По эмпирическому правилу, при гибке низкоуглеродистой стали ширина раскрытия матрицы должна в 8 раз превосходить толщину листа ( $V = 8 \times S$ ), тогда  $P = 8 \times S$ , где  $P$  – выражается в тоннах.





Таблица 4 – Допустимая нагрузка на инструмент при гибке



V, мм	Ноек (угол раскрытия матрицы), °	B, мм	P max, кН/м	H = 130 мм, высота матрицы
50	78	70	1500	34
60	78	70	1500	32,5
80	78	95	1500	42

Значение перекоса – разница между Y-осями. Оно может быть изменено на 0,5 мм на метр рабочей длины машины. Для трехметровой машины, как правило, составляет +1,5 мм и –1,5 мм. Контроллер сохраняет введенное значение осей на протяжении всего цикла гибки.

*Корректировка прогиба стола и ползуна прессы.* Очень жесткая конструкция прессы нерациональна по экономическим соображениям. Балка и стол станка располагаются на двух точках станины и распределяют усилия, в соответствии с длиной изгибаемой детали. Прогиб стола – это производная от усилия (P). Прогиб компенсируется конструкцией стола или держателя инструмента.

Значение антипрогиба дает возможность устранить перегиб. По умолчанию, значение антипрогиба вычисляется контроллером, берущим в расчет усилие гибки.

*Сборка лонжеронов* (рис. 7) осуществляется в следующей последовательности: на поворотный стол роботизированной линии укладываются лонжероны (поз. 9) и продольные усилители; усилители позиционируются по отношению к лонжеронам установочными пальцами, которые вставляются в отверстия; усилители прихватываются к лонжерону в средней части, подобранный лонжерон плотно закрепляется прижимами к рабочему столу; усилители прихватываются к лонжерону по краям. При изготовлении на роботизированной линии сварки лонжеронов длиной от 12,5 до 20 м – сборка и автоматическая сварка осуществляются последовательно. Изготавливаемый лонжерон (поз. 9) перемещается с помощью общего транспортера (конвейера) 5. Сварка осуществляется сварочным роботом AX-V4L AP (поз. 1), состоящего из сварочной горелки МТХСW-5031 (поз. 3), источника тока VPS 4000 (поз. 2). В состав линии также входят: система чистки горелки BRG 2000 и ножниц для отрезки проволоки (поз. 4), система управления загородкой (поз. 6), стойка управления (поз. 7) и роботизированный вращающийся позиционер P 7.500 ROBO (поз. 8).

*Перемещение листовых заготовок.* Для манипулирования тонкими листовыми пластинами и уже подготовленными (вырезанными) заготовками используются траверсы с постоянными магнитами. Поскольку с магнитами невозможно поворачивать листовые пластины, на траверсах установлены также грейферы, с помощью которых можно вращать листовой металл.

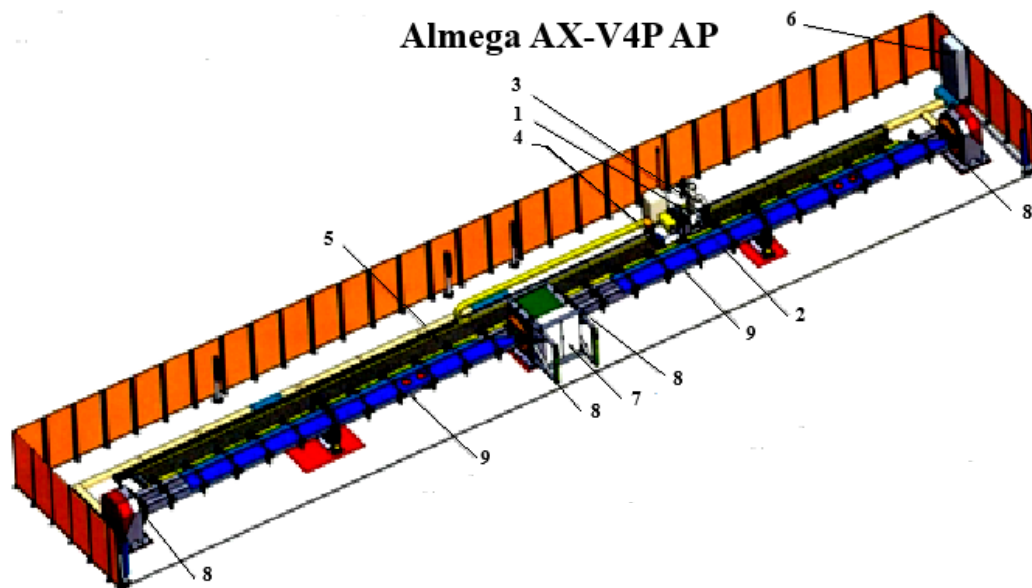


Рис. 7. Общая компоновка линии сварки узлов шасси большегрузных автомобилей (сборка лонжеронов):

- 1 – робот AX-V4L AP; 2 – источник тока для сварочного робота VPS 4000; 3 – сварочная горелка МТХСW-5031; 4 – чистка горелки BRG 2000 – ножницы для отреза проволоки;  
 5 – общий транспортер (конвейер линии) R 25.000 мм; 6 – система управления загороткой;  
 7 – стойка управления; 8 – роботизированный вращающийся позиционер P 7.500V ROBO;  
 9 – изготавливаемый лонжерон

**Возможность уменьшения металлоемкости несущих конструкций автомобилей путем исследования режимов гибки на новом оборудовании.** В настоящее время не в полной мере исследован вопрос влияния режимов гибки на упрочнения металла при холодной пластической деформации.

Значительное влияние на процесс гибки оказывает упрочнение. На рис. 8 показано, что с увеличением деформации металл проявляет свойство увеличивать прочность.

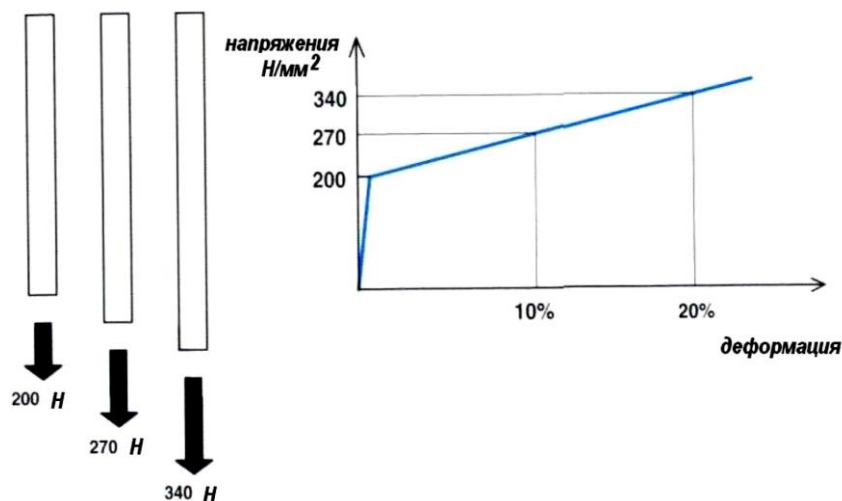


Рис. 8. Влияние упрочнения на процесс гибки

В отличие от отрезки и вырубки, при гибки возникает пластическая деформация, не приводящая к разрушению материала, в связи с чем предел прочности материала ( $R_m$ ) на процесс гибки влияет незначительно.

В приведенном примере, не деформированный металл имеет предел текучести  $200 \text{ Н/мм}^2$ , когда его относительная деформация достигает 10 %, напряжения становятся равными  $270 \text{ Н/мм}^2$ , напряжение  $340 \text{ Н/мм}^2$  достигается при дальнейшем росте деформации.

Рассмотрим процесс гибки металла с низким упрочнением. Для металлов с такими свойствами сопротивление пластической деформации изменяется незначительно вплоть до разрушения. После однократной гибки наибольшее напряжение образуется в середине матрицы под пуансоном (очаг деформации). Не существует объяснений, почему окружающий металл не изменяет пластичность и деформация продолжается там, где началась. Изгибаемый металл окружает пуансон, и внутренний радиус гибки будет равен радиусу пуансона (рис. 9, слева).

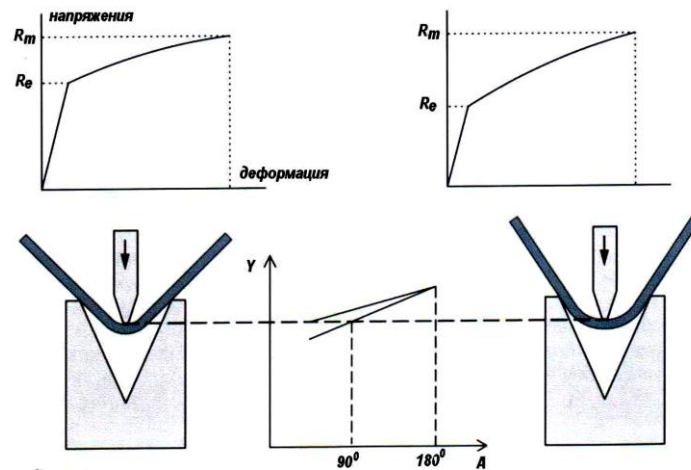


Рис. 9. О независимости естественного радиуса гибки от радиуса пуансона

Для металлов с высоким упрочнением, предел текучести возрастает с увеличением деформации. После однократного достижения предела текучести наибольший изгибающий момент возникает в середине листа. Таким образом, в процессе деформации прочность материала увеличивается, включая и прилегающие к очагу деформации области, вызывая их деформацию. В результате внутренний радиус гибки будет больше радиуса пуансона. Когда радиус гибки не зависит от радиуса пуансона, он является естественным радиусом гибки (рис. 9, справа).

Хорошо известно, что при одной и той же позиции пуансона (Y) для различных материалов будет разный угол гибки. На рис. 10 показано, почему получается это различие.

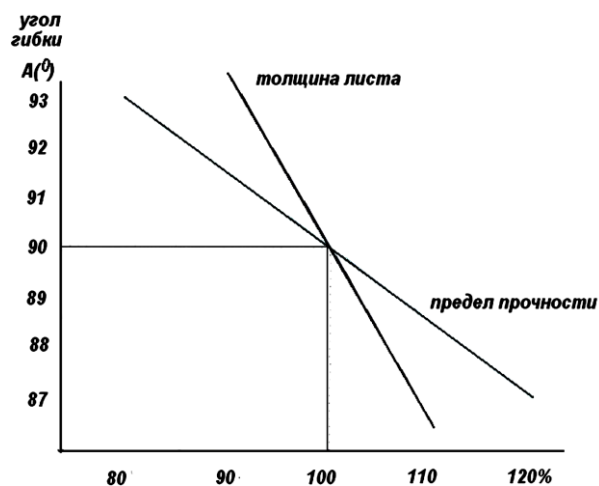


Рис. 10. Зависимость угла гибки от толщины листа и предела прочности материала

На металлах, коэффициент упрочнения которых выше на 20 %, угол гибки будет на 3 % меньше. С увеличением толщины листа на 10 % угол гибки уменьшается на 3,5 градуса (рис. 10). Как правило, толщина листового металла в одной партии поставки различна, а толщина каждого листа может меняться от кромок к центру, что объясняется особенностями процесса прокатки роликами. Механические свойства материала (напряжения упрочнения) меняются в зависимости от направления прокатки. Это явление называется «Анизотропия». При воздушной гибке, минимальный допуск угла составляет  $\pm 1,0$  градус, поэтому измерение угла гибки производят в процессе нагрузки. К тому же после снятия нагрузки, имеющиеся напряжения приводят к пружинению (рис. 11), которое изменяет угол.

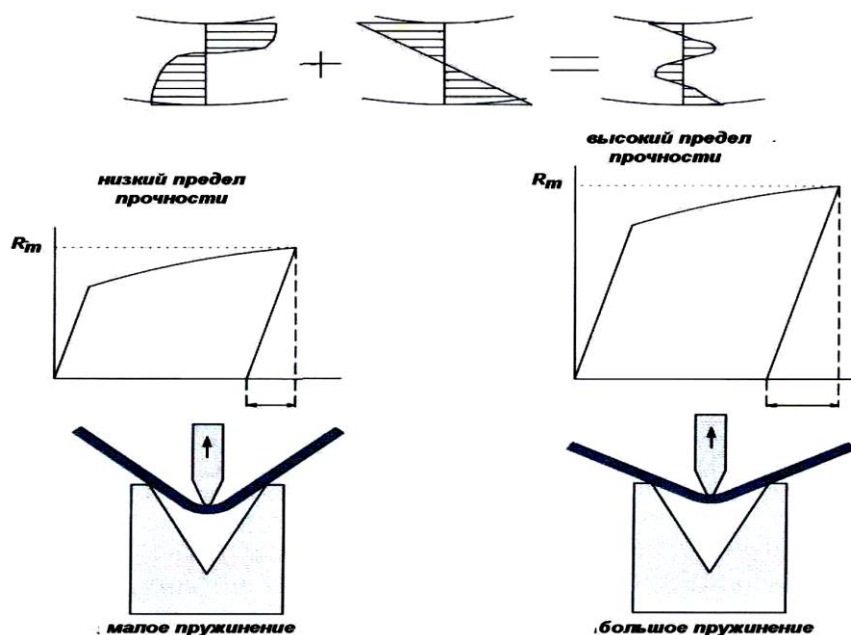


Рис. 11. Схема эффекта пружинения, которое изменяет угол после снятия нагрузки под действием имеющихся напряжений

Пружинение прямо пропорционально напряжениям растяжения. Рис. 12 показывает величину этого эффекта.

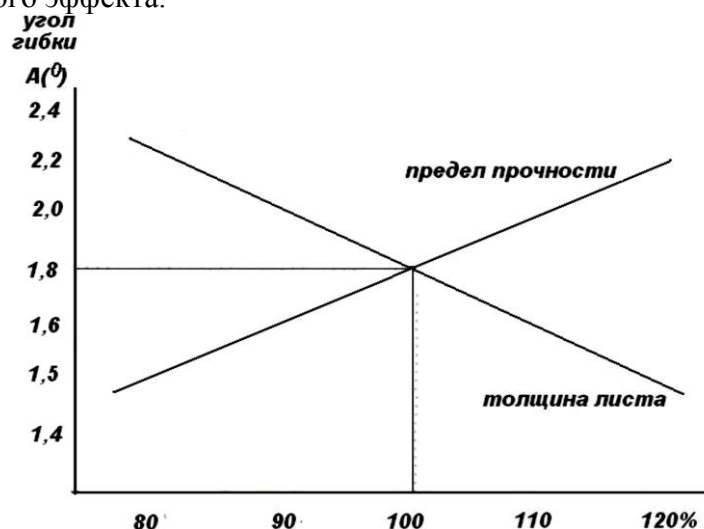


Рис. 12. Зависимость величины пружинения от напряжения растяжения

Для производства деталей шасси большегрузных автомобилей применяются различные материалы: низко легированные конструкционные стали 09Г2С и 10ХСНД; импортные высокопрочные стали S690QL, S700MC, weldox 700, hardox 450.

Сталь 09Г2С (табл. 5, 6).

Назначение: различные детали и элементы сварных металлоконструкций, работающих при температуре от  $-70$  до  $+425$  °С.

Таблица 5 – Химический состав Стали 09Г2С

Химический элемент	%	Химический элемент	%
Углерод (С), не более	$\leq 0,12$	Никель (Ni), не более	0,30
Кремний (Si)	0,5–0,8	Фосфор (P), не более	0,035
Медь (Cu), не более	0,30	Хром (Cr), не более	0,30
Мышьяк (As), не более	0,08	Азот (N), не более	0,008
Марганец (Mn)	1,3–1,7	Сера (S), не более	0,040

Таблица 6 – Механические свойства Стали 09Г2С

Термообработка, состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
Сортовой и фасонный прокат	5–10	345	490
Листы и полосы (образцы поперечные)	10–20	325	470

Сталь 10ХСНД (табл. 7, 8).

Назначение: элементы сварных металлоконструкций и различные детали, к которым предъявляются требования повышенной прочности и коррозионной стойкости с ограничением массы и работающие при температуре от  $-70$  до  $+450$  °С.

Таблица 7 – Химический состав Стали 10ХСНД

Химический элемент	%	Химический элемент	%
Углерод (С)	$\leq 0,12$	Никель (Ni), не более	0,5–0,8
Кремний (Si)	0,8–1,1	Фосфор (P), не более	0,035
Медь (Cu), не более	0,4–0,6	Хром (Cr), не более	0,6–0,9
Мышьяк (As), не более	0,08	Азот (N), не более	0,008
Марганец (Mn)	0,5–0,8	Сера (S), не более	0,04

Таблица 8 – Механические свойства Стали 10ХСНД

Термообработка, состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
Сортовой и фасонный прокат	8–15	390	530
Листы и полосы (образцы поперечные)	16–32	390	530

Высокопрочные стали (табл. 9) в процессе закалки подвергают чрезвычайно быстрому охлаждению с  $900$  °С до комнатной температуры посредством воздействия на лист воды. Закалка происходит в специальной валковой установке. После отпуска при температуре  $580$ – $650$  °С стальные листы приобретают высокую прочность, хорошую ударную вязкость и великолепную свариваемость. Благодаря эффективной закалке в воде сводятся к минимуму содержание легирующих элементов.

Таблица 9 – Механические свойства импортных высокопрочных сталей

Материал	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
S690QL	700	850
S700MC	673	810
Weldox700	700	850
Hardox450	1200	1400

Моделирование режимов гибки можно производить при помощи программного обеспечения CadmanB, которое поставляется с листогибочными прессами PPEB-H 1000/9100 и PPEB-H 400/4000.

В качестве примера рассмотрим процесс гибки лонжерона одного из изделий МЗКТ. Последовательность программы гибки лонжерона из различных металлов приведен на рис. 13.











Рис. 13. Общий вид программы прессы при гибке лонжерона из различных металлов

Ниже расписаны основные параметры, представленные меню программой на рис. 13. Марка стали и толщина детали.



	10hand 6.00
	10842.7
	115.0
	R30_G1548014 V60_78_130_G1545312

– длина гибки.

– угол гибки.

– используемый набор инструмента.

R	128.5
---	-------

X	60.65
---	-------

– координаты задних упоров.

Z	2423.8 10000.0 9559.6 7050.0
---	---------------------------------------

V	1.05 0.00
---	--------------

– антипрогиб стола.

	629
---	-----

– позиция гибки, этот параметр указывает позицию и измерение от левой стороны машины до левой стороны заготовки.

Позиция вычисляется в соответствии с длиной гибки заготовки и рабочей длиной шины.

	-3.6
---	------

– значение угла пружинения.

	MLAA_FR...
---	------------

– уровень заднего упора.

	5382 2485
---	--------------

– усилие гибки (первое значение соответствует усилию на прессе 1000 т, второе значение – пресс 400 т).

	8.79
---	------

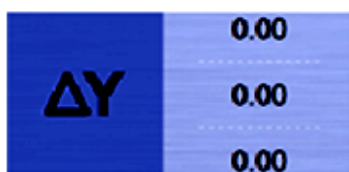
– радиус гибки.

Y	117.92
---	--------

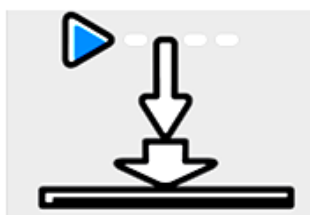
– нижняя «мертвая точка».

	---
---	-----

– высота отгибаемой полки.



– перекос балки, то есть разница между осями У.



– верхняя мертвая точка, это наивысшая точка возвращения балки послегиба. По умолчанию, контроллер всегда будет считать самое подходящее значение, но иногда это значение можно изменить вручную. В случае, когда необходимо иметь хороший обзор заднего упора, рекомендуется указать более высокую точку возврата. В случае работы с маленькими деталями, которыми легко манипулировать, можно уменьшить это значение. Этим достигается более высокая производительность оборудования.



– точка переключения скоростей, это точка переключения с высокой скорости на рабочую скорость.



– режим гибки: свободная гибка, гибка с использованием системы контроля угла гибки, формовка.

Для гибки всего перечня этих сталей применяются одинаковые режимы гибки, что не является оптимальным выбором, так как стали имеют как различный химический состав, так и различные механические свойства. Необходимо добиться оптимального упрочнения металла при холодной пластической деформации, что позволит нам снизить общую металлоемкость конструкции, а, следовательно, – и себестоимость выпускаемой продукции.

**Заключение.** Охарактеризованы основные технологические задачи обработки материалов давлением при производстве несущих конструкций большегрузных автомобилей: расширение области применения путем замены литых и кованных деталей; широкое распространение благодаря простой конструкции инструмента; снижение расходов материала путем применения точных заготовок (без дальнейшей механической обработки деталей), рационального раскроя; увеличение производительности путем механизации и автоматизации процессов. Увеличение прочности и жесткости деталей достигается: благодаря более высоким механическим свойствам исходного, в большинстве случаев горячекатаного листового металла; в результате упрочнения металла при холодной пластической деформации; вследствие более целесообразного распределения металла по сечению профиля; обработкой материалов давлением в производстве несущих конструкций автомобилей пытаются добиться основной цели: получить полностью законченную деталь, не требующую дальнейшей обработки резанием. Рассмотрены оборудование и инструмент, применяемый для производства несущих конструкций большегрузных автомобилей. Использованная информация по характеристикам оборудования и применяемых материалов получена на основании анализа сайтов фирм производителей. Приведены сведения о технологии и оборудовании для производства холодногнутой детали (лонжеронов и поперечин рам, различных кронштейнов, элементов ведущих мостов, осей, платформ и др.) шасси большегрузных автомобилей. Описанные в статье тех-

нология и оборудование в комплексе образуют новую высокотехнологичную комплексную систему изготовления холодногнутох деталей, обеспечивающих производство несущих конструкций шасси большегрузных автомобилей с управляемыми характеристиками прочности и долговечности.

Материалы являются обобщением передового опыта зарубежного и отечественного автомобилестроения в данной области и могут быть полезны для развития исследований по конструкторско-технологическому обеспечению надежности на стадии создания сборных несущих конструкций, методологии их ресурсного проектирования [6–8], что является необходимым условием повышения качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гун Г. Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
2. Теория пластических деформаций металлов/ Е. П. Унксов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров и др.: Под ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчиникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
3. Огородников В. А. Оценка деформируемости при обработке давлением. – Киев: Вища школа, 1983. – 175 с.
4. Колмогоров В. Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
5. Капуста П. П. Учет технологий изготовления и упрочнения деталей при ресурсном проектировании машин заданной надежности// Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. научн. трудов под ред. П. С. Гурченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – С. 154–162.
6. Капуста П. П., Верес А. И., Слабко И. А. Экспериментальные исследования сопротивления усталости и разработка новой сборной конструкции рамы двухосного магистрального автомобиля-тягача с повышенным ресурсом// Грузовик. – 2011, № 5. – С. 2, 3, 40–44.
7. Капуста П. П. Принципы обеспечения надежности и ресурсного проектирования несущих систем мобильных машин// Грузовик. – 2013, № 3. – С. 24–31.
8. Капуста П. П., Лебедев О. Н., Дидух М. И., Шинкевич В. И., Грихно А. А. Проектная оценка конструкции рамы на стадии эскизной компоновки четырехосного автомобиля-самосвала// Машиностроение. – Мн., 2021. – Вып. 33. – С. 106–127.

*Поступила 18.07.2022*

**УДК 620.178; УДК 621. 81: 621 – 192; УДК 681.3.06:629.114.2**

**Капуста П. П.<sup>1</sup>, Леоненко А. Г.<sup>2</sup>**

### **КОМПЛЕКСНАЯ ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЕДУЩИХ МОСТОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НАДЕЖНОСТИ**

*1. Белорусский национальный технический университет*

*2. Минский автомобильный завод,*

*Минск, Беларусь*

*В статье содержатся сведения о классификации, конструкциях, современных методах конструкторско-технологического обеспечения надежности ведущих мостов грузовых автомобилей. Авторский коллектив специализируется в области исследования надежности, ресурсного проектирования, разработки технологий производства перспективных несущих систем грузовых автомобилей. Материалы являются обобщением передового опыта зарубежного и отечественного автомобилестроения, а также внед-*