

УДК 658.51 : 621.81

**Акулович Л.М.<sup>1</sup>**, доктор технических наук, профессор;  
**Мендалиева С.И.<sup>2</sup>**, кандидат технических наук, доцент;  
**Буйнич В.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь;

<sup>2</sup>АО «Казахский аграрно-технический университет  
им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан

## **СОВМЕЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА**

***Аннотация.** Рассмотрены условия применения в единых технологических процессах операций раскроя листового металлопроката и операций механической обработки. Предложен метод структурного синтеза при проектировании сквозных технологических процессов.*

Около 70% продукции сельскохозяйственного машиностроения выпускается на предприятиях с мелкосерийным характером производства и частой сменяемостью номенклатуры выпускаемых изделий. Освоение производства новых изделий требует технической подготовки производства. Сроки на подготовку производства, как правило, всегда ограничены [1]. В таких условиях экономически выгодно в качестве заготовок использовать сортовой металлопрокат, из которого изготавливается широкая номенклатура деталей почвообрабатывающих, посевных, кормо- и зерноуборочных машин, навесных и прицепных механизмов. Это целый класс деталей – ножи, диски, лемехи, зубья и т.п. Известно, что при изготовлении деталей из листового металлопроката наиболее трудоемкими являются операции раскроя и последующей механической обработки. За последние годы для раскроя листового металлопроката широко внедряются технологии плазменной, лазерной и гидроабразивной резки. Технологические комплексы для резки имеют точность позиционирования  $\pm 0,01$  мм и могут обеспечивать точность обработки –  $\pm 0,1$  мм. В технической документации на раскройные комплексы

их производители указывают параметры точности перемещений исполнительных органов, а параметры геометрической точности вырезаемых контуров заготовок не приводятся, поскольку они зависят от технологических режимов резки, толщины листов металлопроката, мощности резательной головки, скорости перемещения резака и т.п. Высокая производительность резки (до 20 м/мин), малые ширина реза и зона термического влияния (диаметр луча составляет сотые доли миллиметра), высокая точность взаимного расположения вырезаемых поверхностей, возможность раскрыть сложных контуров деталей позволяют использовать способы резки листового металлопроката и операции механической обработки в единых технологических процессах. Вместе с тем, разработка таких технологических процессов с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет пересмотреть припуски на механическую обработку в сторону их уменьшения, экономить металл, снизить трудоемкость изготовления изделий.

Для определения граничных условий назначения в технологические процессы изготовления деталей машин из металлопроката операций термической резки были проведены экспериментальные исследования по влиянию современных способов термической резки металлопроката на точность и шероховатость поверхностей заготовок. Геометрическая точность оценивалась качеством точности, определяемым через величины отклонения от номинальных размеров и допуски. Шероховатость поверхностей реза оценивалась по параметру  $Ra$  (среднее арифметическое отклонение профиля). Для вырезки заготовок использовали порталный станок для плазменной и газовой резки VanadProxima (Portal) HDSeries и консольный станок для лазерной резки VANAD MIRON LASER (Fiber). Из листового металлопроката 345–09Г2С–св–2 ГОСТ 19281–89 различной толщины плазменной и лазерной резкой вырезали заготовки деталей круглой формы определенных диаметров (по 5 штук каждого диаметра из листов определенной толщины), на которых измеряли диаметральный ( $D\Phi$ ) размер и параметр  $Ra$  шероховатости поверхности реза. Варьируемые факторы: толщина листа  $S$ , и радиус реза  $R$ . По фактической величине диаметров вычисляли отклонения  $\Delta_{\text{п}}$  (для плазменной резки) и  $\Delta_{\text{л}}$  (для лазерной резки) от номинальных размеров. Измерение действительных диаметральных размеров производили по ГОСТ 26433.1–89

с использованием штангенциркуля электронного ШЦЦ–1–300 (цена деления 0,01 мм). Шероховатость поверхности измеряли профилометром MITUTOYO SJ–201P. Эксперименты проводились по программе центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка. Результаты экспериментальных исследований были обработаны методами математической статистики с использованием табличного процессора MS-Excel 2010. Получены уравнения регрессии второго порядка:

$$\Delta_{\Pi} = 0,177 + 10^{-3} \cdot (16,9 \cdot S - 0,34 \cdot R - 0,018 \cdot S \cdot R - 0,04 \cdot S^2 + 0,003 \cdot R^2);$$

$$\Delta_{Л} = 0,065 + 10^{-3} \cdot (1,3 \cdot S + 0,5 \cdot R + 0,2 \cdot S^2 + 0,002 \cdot R^2);$$

$$Ra_{\Pi} = 15,40 + 10^{-3} \cdot (64,3 \cdot S - 135,9 \cdot R - 0,4 \cdot S \cdot R + 16,1 \cdot S^2 + 0,6 \cdot R^2);$$

$$Ra_{Л} = 2,545 + 10^{-3} \cdot (432,7 \cdot S - 32,4 \cdot R + 0,2 \cdot S \cdot R - 7,2 \cdot S^2 + 0,2 \cdot R^2).$$

Адекватность полученных моделей не превышает 5% уровня значимости по критерию Фишера.

Графическая зависимость влияния толщины листа  $S$  и радиуса реза  $R$  на величину параметра  $Ra$  шероховатости поверхности реза при плазменной и лазерной резке приведена на рисунке 1.

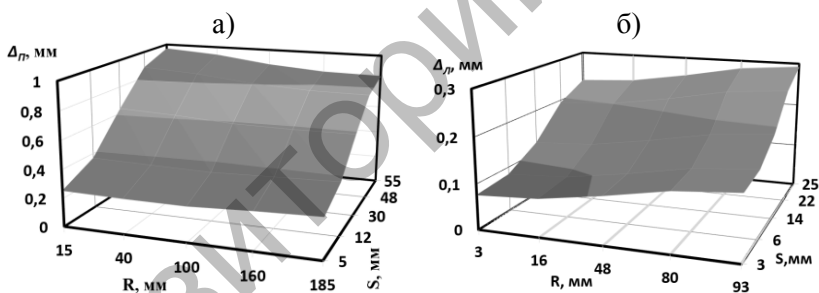


Рисунок 1 – Влияние толщины листа  $S$  и радиуса реза  $R$  на величину отклонений от номинального размера  $\Delta$  при плазменной (а) и лазерной (б) резке

Экспериментально установлено, что плазменной резкой можно обрабатывать поверхности по 10...14-му качеству точности (ГОСТ 25346–89) с шероховатостью  $Ra$  8,0...63,0 мкм, а лазерной резкой – по 10...12-му качеству точности с шероховатостью  $Ra$  2,5...10,0 мкм. По результатам экспериментальных исследований сформулированы основные условия выбора операций резки в технологии обработки КТЭ. Для плазменной резки:  $S \leq 55$  мм, качество не точнее 14-го, шероховатость поверхности  $Ra \geq 16,0$  мкм (при

$S \leq 12$  мм),  $D1 \geq (0,9...1,4)S$  (при обработке цилиндрических поверхностей),  $D3 \geq (0,9...1,4)S$  при условии  $D3 \geq 3$  мм (при обработке конических поверхностей). Для лазерной резки:  $S \leq 25$  мм, качество не точнее 12-го, шероховатость поверхности  $Ra \geq 10,0$  мкм,  $D1 \geq (0,3...0,4)S$  (при обработке цилиндрических поверхностей),  $D3 \geq (0,3...0,4)S$  (при обработке конических поверхностей).

Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке библиотеки конструктивно-технологических элементов (КТЭ) деталей из металлопроката для САПР технологий их изготовления. Библиотека содержит КТЭ различных типов (поверхности, отверстия, пазы, окна, канавки и другие) со схемами их обработки, включая операции лазерной и плазменной резки, а также условия выбора оптимальных схем обработки в зависимости от требуемой точности. Фрагмент библиотеки КТЭ приведен на рисунке 2.

Эскиз КТЭ	Условия выбора схемы обработки поверхностей КТЭ	Схемы обработки поверхностей КТЭ
<p>КТЭ - окно в сплошном материале на плоской поверхности</p>	<p>Шероховатость <math>Ra \geq 3,2</math> мкм Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные)</li> <li>- фрезерование концевой фрезой</li> </ul>
	<p>Шероховатость поверхности окна <math>Ra \geq 4,0</math> мкм <math>8 \text{ мм} \leq L5 \leq 100</math> мм Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- гидроабразивная резка</li> <li>- фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные)</li> <li>- фрезерование концевой фрезой</li> </ul>
	<p>Шероховатость поверхности окна <math>Ra \geq 10,0</math> мкм <math>L5 \leq 25</math> мм Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные)</li> <li>- фрезерование концевой фрезой</li> <li>- лазерная (или гидроабразивная при <math>L5 \geq 8</math> мм) резка</li> </ul>
	<p>Шероховатость поверхности окна <math>Ra \geq 16,0</math> мкм <math>25 \text{ мм} &lt; L5 \leq 55</math> мм Квалитет точности: не точнее 14-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные)</li> <li>- фрезерование концевой фрезой</li> <li>- плазменная резка</li> </ul>

Рисунок 2 – Фрагмент библиотеки КТЭ

Библиотека КТЭ использована при разработке программного обеспечения базы данных, что позволяет формировать технологические процессы методом синтеза операций [2].

Конструкторско-технологическую модель любой детали можно представить, как совокупность входящих в нее КТЭ. Для каждого КТЭ должны быть определены геометрические параметры, варианты технологии его обработки, а также условия выбора требуемого варианта. На основании фактических значений геометрических парамет-

ров для каждого КТЭ происходит выбор из базы данных требуемого варианта технологии его обработки. Технологический процесс изготовления детали синтезируется из выбранных вариантов технологии обработки всех входящих в эту деталь КТЭ. Формирование технологического процесса изготовления детали методом структурного синтеза происходит путем совмещения выбранных вариантов обработки всех КТЭ детали (рисунок 3). Такой подход дает возможность создавать технологию обработки, качество которой не определяется квалификацией технолога, а степенью отлаженности алгоритмов, внесенных в базу знаний. С другой стороны, этот подход не исключает вмешательство технолога в процесс проектирования на любом этапе. Технолог может сформировать и заложить в систему те технологические решения, которые для него актуальны.

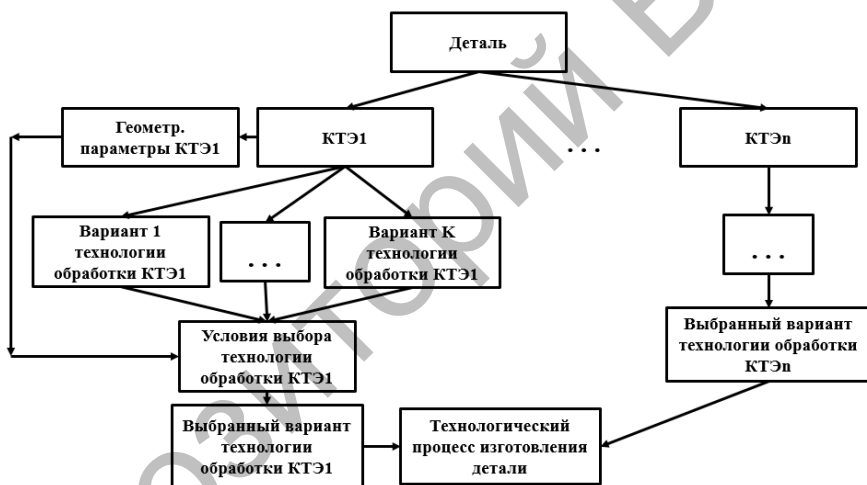


Рисунок 3 – Схема формирования технологического процесса изготовления детали методом структурного синтеза

Внедрение САПР сквозного проектирования технологий изготовления деталей из металлопроката обеспечивает экономию металлопроката до 10% за счет снижения припусков на обработку.

#### Список использованной литературы

1. Акулович, Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие

/ Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2012. – 488с.

2. Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN. Руководство пользователя. ОРГС 4664.013.ИЗ. – Минск : ОАО «Институт Белоргстанкинпром», 2005. – 135 с.

**Abstract.** It is proposed to use the method of synthesis in the design of end-to-end manufacturing processes of sheet metal parts. This makes it possible to combine the operations of cutting metal and machining the surfaces of parts and provides an economic metal by reducing the allowances for processing.

УДК 631.353.722

**Анискович Г.И.**, кандидат технических наук, доцент;

**Литовчик Д.П.**, инженер

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **УПРОЧНЕНИЕ ДИСКОВ РОТОРОВ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА РОТОРНЫХ КОСИЛОК**

***Аннотация.** В статье приведены результаты исследований элементного состава, структуры и основных механических свойств упрочненных импульсной закалкой дисков роторов роторных косилок. Подтверждена возможность изготовления этих сложнопрофильных деталей из углеродистых сталей с упрочнением импульсной закалкой. При этом деталям обеспечиваются, отвечающие условиям эксплуатации, значения твердости, ударной вязкости, прочности, характерное структурное строение.*

**Введение.** В конструкциях современных дисковых и роторных косилок на режущем брусе устанавливаются роторы, каждый из которых имеет два шарнирно-закрепленных косилочных ножа. В