

ОСОБЕНОСТИ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА РАЗКРОЯВАНЕ НА ЗАГОТОВКИ ОТ МАШИННОТО ИНЖЕНЕРСТВО И ПРИБОРОСТРОЕНЕТО

Виктор Бойков Георгиев
viktor_georgiev@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“,
София, 1574, ул. "Гео Милев" 158
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** заготовки, гилотиннорязане, рязане с газов пламък, лазерно рязане, режими на лазерно рязане с определена точност грапавост, C235*

***Резюме:** Статията има приложен характер, сравняваща предимствата и недостатъците на методите за разрязване, свързани с целите на машинното инженерство, вкл. и пътно-строителната и пътно-транспортната техника. Чрез сравняване е отразена спецификата на методите и техните особености по отношение на ефективност, прецизност и приложимост. Специално внимание е отделено на лазерното рязане и параметрите, определящи желано качество на среза по отношение на неговата точност. Това е осъществено чрез дефиниране на два проблема, при които са анализирани резултатите след осъществени изчисления.*

I. ВЪВЕДЕНИЕ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕТО НА МЕТОДИТЕ ЗА РАЗКРОЯВАНЕ

Не е възможно да се посочи определен процентен диапазон за приложимостта на различните методи за разкрояване, използвани в машиностроенето и приборостроенето. Конкретните проценти на използване за всеки метод могат да варират в зависимост от регионални предпочитания, индустриални тенденции, технологичен напредък и индивидуалните изисквания при изработвания детайл [1],[2]. Съответният процент варира в зависимост от няколко фактора, сред които на първо място е типът на материала. Различните материали могат да реагират с характерна специфика при различните методи на разрязване. Например, метали като конструкционна стомана може да се режат по-често с помощта на лазерни или газо-пламъчни методи, докато по-меките материали като пластмасите може да са по-подходящи за рязане с гилотина [3]. Не по-малко важен за качеството и ефективността на процеса са физико-механичните свойства на листовия материал и нейната дебелина. Дебелината на листовия материал влияе на избора на метод на рязане, като при гилотинното рязане често се използва за по-тънки материали, докато лазерното и газопламъчното рязане са предпочитани за по-дебели материали. В случай на прецизност при зададено качество е решаваща ролята на лазерното рязане [4]. Този вид рязане има тенденция да бъде предпочитано поради способността му да произвежда много фини заготовки с минимално топлинно изкривяване. Всеки подходящо избран метод може финансово да варира в зависимост

от конкретните технически изисквания. За производство с голям обем ефективността става критичен фактор. Лазерното рязане, с неговата висока скорост и възможности за автоматизация, също може да бъде предпочитано и в такива случаи [5].

По отношение на конкретно приложение, поместено в раздел 3, е възможно за професионалното направление 5.1. Машинно инженерство да се обвърже с други интердисциплинарни направления, като ПН 4.1. Инженерна физика ПН5.6. Материали и материалознание и др. и по този начин да се решават задачи с повишена сложност от конкретни приложения, посочени в табл. 1.

Във всички случаи определената енергия, може да се регулира въз основа на метода на рязане и характеристиките на материала. Ще бъде доказано в изложението, че тя играе решаваща роля при определяне на качеството и последователността на заготовките. Регулирането на параметри като мощност, скорост на рязане (скорост на подаване) може да помогне за контролиране на границите в дебелината и постигане на желаните резултати.

Табл. 1. Конкретно приложение на съответният начин на разкрояване.

Гилотинно разкрояване	Рязане с газов пламък	Лазерно рязане
Използва за по-тънки листови материали и често се среща в индустрии като печат, опаковки и производствени цехове. Той предлага простота и рентабилност за рязане на относително прости конфигурации.	Използва се за по-големи дебелини, особено в индустрии като корабостроенето, строителството и производството на метали. Предпочитан е заради способността си да реже бързо дебели материали, въпреки че може да доведе до по-груби ръбове в сравнение с лазерното рязане	Най-популярен в широк спектър от индустрии поради своята гъвкавост, прецизност и възможности за автоматизация. Обикновено се използва в индустрии като автомобилостроенето, космическата промишленост, електрониката и др. С напредването на технологиите и намаляването на разходите лазерното рязане става все по-достъпно за различни приложения и видове материали.

II. СПЕЦИФИКА НА МЕТОДИТЕ ЗА РАЗКРОЯВАНЕ, ПРИЛОЖЕНА ЧРЕЗ ТЕХНИТЕ ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ

Разкрояването на заготовки от листов материал играе важна роля в машиностроенето и производствените процеси. Тази необходимост може да бъде обоснована чрез следните основни характеристики:

- Специфичността на желаната конфигурация на формата на заготовката. Тези заготовки служат като полуфабрикати за производството на различни машинни компоненти и части, включително и тези от пътно-строителната техника.

Предимства	
Гилотинно разкрояване	Гилотинните ножове често предлагат прецизно рязане, особено за прави линии и прости форми.
Рязане с газов пламък	Рязането с газов пламък може да се използва за рязане на широк диапазон от дебелини на метал, от тънки листови до дебели плочи, което го прави подходящо за различни приложения.
Лазерно рязане	Лазерното рязане може да се използва върху широка гама от материали, включително метали, пластмаси, дърво, керамика и композити. Той предлага гъвкавост за различни производствени нужди

Недостатъци	
Гилотинно разкрояване	Гилотинните са предназначени предимно за прави срезове и може да не са подходящи за сложни или извити конфигурации
Рязане с газов пламък	Рязането с газов пламък не е толкова прецизно, колкото някои други методи на рязане, като лазерно рязане, особено за сложни или детайлни форми. Срязаната повърхност, получена чрез рязане с газов пламък, може да не е толкова гладка или чиста, колкото тази, получена с други методи на рязане, което изисква допълнителни довършителни операции.
Лазерно рязане	Въпреки че лазерното рязане е многофункционално, ефективността му намалява с по-дебелите материали. Изключително дебилите материали може да изискват множество проходи или алтернативни методи на рязане. Въпреки че лазерното рязане може да се използва върху широка гама от материали, някои материали не са подходящи поради техните отразяващи свойства или склонност да отделят опасни изпарения при рязане. За рязане на определени материали може да са необходими специални лазери или допълнителни мерки за безопасност.

- В машиностроенето и приборостроенето се изискват прецизни и точно оформени заготовки, чрез които да се осигури правилна функционалност и сглобяване. Точната заготовката на листа позволява на да произвеждат компоненти с тесни допуски, отговарящи на точните спецификации, в процеса на монтаж.

Предимства	
Гилотинно разкрояване	Гилотинните резачки могат да обработват различни материали, включително хартия, картон, пластмаса и тънки метали, което ги прави универсални за различни индустрии и приложения.
Рязане с газов пламък	В сравнение с някои други методи на рязане, оборудването за рязане с газов пламък е сравнително евтино и оперативните разходи могат да бъдат по-ниски, особено за по-дебели материали. Оборудването за газопламъчно рязане често е преносимо, което му позволява да се използва на различни места, включително строителни обекти и отдалечени райони.
Лазерно рязане	Лазерното рязане осигурява изключително висока прецизност, позволявайки сложни и сложни форми с малки допуски. Това го прави идеален за приложения, изискващи точност, като например в космическата и медицинската индустрия. Лазерното рязане обикновено е по-бързо от традиционните методи на рязане, особено за по-тънки материали. Високоскоростното рязане може да увеличи производителността и да намали времето за производство.
Недостатъци	
Гилотинно разкрояване	При него съществуват проблеми с по-дебели материали или големи пакети листове, което води до непоследователни разфасовки или потенциално натоварване на машината. Гилотинните ножове представляват значителни рискове за безопасността поради острите остриета и мощната сила на рязане. Без подходящи предпазни мерки операторите могат да получат сериозни наранявания.
Рязане с газов пламък	Въпреки че рязането с газов пламък може да се справи с широк диапазон от дебелини, то може да не е толкова ефективно или ефикасно за изключително дебели материали. Рязането с газов пламък

	произвежда изпарения, топлина, които могат да представляват опасност за околната среда и безопасността, ако не са осигурени подходяща вентилация и мерки за безопасност.
Лазерно рязане	Лазерното рязане генерира топлина по време на процеса на рязане, което може да доведе до зона, засегната от топлина (HAZ) по протежение на ръба на рязане. Това може да е причина за изкривяването на материала, особено при по-дебели материали, и може да повлияе на свойствата на чувствителните към топлина материали. Системите за лазерно рязане изискват редовна поддръжка, за да осигурят оптимална производителност и безопасност. Това включва почистване на оптика, подмяна на консумативи (като лещи и дюзи) и калибриране на системата за поддържане на точност.

- Ефективно оползотворяване на материала с коефициент на използване на материала близък до 1.00. Чрез рязане на листове в предварително зададени форми, изрязването на листове минимизира материалните отпадъци. Производителите могат да оптимизират използването на материали, намалявайки разходите и въздействието върху околната среда.

Предимства	
Гилотинно разкрояване	Рязането с гилотина може да бъде сравнително бързо, особено за прави срезове на тънки материали. Машините за рязане с гилотина обикновено са по-евтини от някои други методи за рязане, което ги прави достъпни за по-малки предприятия и работилници. Гилотините са сравнително лесни за работа и изискват минимално обучение, намалявайки кривата на обучение за операторите.
Рязане с газов пламък	Газовото рязане не зависи от електричество, което го прави подходящо за райони с ограничен достъп до електричество или в ситуации, в които може да възникне прекъсване на захранването. Рязането с газов пламък създава относително малка зона, засегната от топлина, в сравнение с някои други методи на термично рязане, намалявайки риска от изкривяване на материала.
Лазерно рязане	За разлика от механичните методи на рязане, лазерното рязане не включва директен контакт с материала, който се реже. Това намалява риска от деформация или повреда на материала, особено за деликатни или чувствителни на топлина материали. Лазерното рязане е безконтактен процес, така че има минимално износване и разкъсване на режещите инструменти. Това води до постоянно качество на рязане във времето и намалява необходимостта от честа поддръжка или смяна на инструмента. Системите за лазерно рязане могат да бъдат напълно автоматизирани и управлявани чрез компютърни програми.
Недостатъци	
Гилотинно разкрояване	Някои материали, особено металите, могат да получат изкривяване или изкривяване по време на рязане с гилотина, особено ако материалът не е правилно поддържан или захванат. Гилотините изискват редовна поддръжка, за да осигурят оптимална производителност и безопасност. Ножовете се нуждаят от заточване или подмяна, а движещите се части трябва да бъдат смазани и проверени за износване. В зависимост от размера и дизайна на гилотинния нож, те могат да генерират значителен шум и вибрации по време на работа, което може да бъде разрушително в някои среди.

Рязане с газов пламък	Рязането с газов пламък обикновено е по-бавно от някои други методи на рязане, особено за по-големи дебелини, което може да повлияе на производителността и ефективността. Рязането с газов пламък изисква умения и опит за постигане на оптимални резултати, включително контролиране на скоростта на рязане, температурата на пламъка и газовия поток. Рязането с газов пламък често изисква предварително загряване на детайла до определена температура преди рязане, което може да увеличи общото време на процеса.
Лазерно рязане	Оборудването и инфраструктурата, необходими за лазерно рязане, могат да бъдат скъпи, особено за системи с висока мощност, способни да режат по-големи дебелини или да работят при високи скорости. Като цяло, въпреки своите недостатъци, лазерното рязане остава много ефективен и широко използван метод за прецизно рязане в различни индустрии, благодарение на своята гъвкавост, скорост и точност

- Процесите на изрязване на листове могат да бъдат мащабирани според производствените изисквания. Независимо дали се произвеждат прототипи, малки партии или масови производствени серии, заготовката на листове осигурява гъвкавост в производствения обем.
- Производителите на машини често изискват персонализирани части, за да отговорят на специфични изисквания за дизайн или предпочитания на клиента. Заготовката на листове позволява производството на уникални форми и размери, съобразени с нуждите на всяка машина или проект.
- Интегриране с автоматизация. С напредъка в технологията за автоматизация, процесите на изрязване на листове могат да бъдат интегрирани в автоматизирани производствени линии. Автоматизираните системи за заглушаване подобряват ефективността, последователността и производителността, намалявайки разходите за труд и увеличавайки производителността.
- Намалени срокове за изпълнение. Чрез рационализиране на производството на машинни компоненти, заготовката на листове помага за намаляване на времето за изпълнение в производствения процес. Това позволява по-бърза доставка на машини до клиентите, подобрявайки цялостната удовлетвореност на клиентите.
- Контрол на качеството. Процесите на заготовка на листове могат да бъдат внимателно наблюдавани, за да се гарантира качеството на произведените компоненти. Техниките за инспекция, като проверки на размерите и тестване на материалите, помагат да се поддържат висококачествени стандарти по време на производството.

III. ДВЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ОТ ЛАЗЕРНОТО РЯЗАНЕ, СВЪРЗАНИ С РАЗДЕЛ ТЕХНОЛОГИЯ ОТ ПН 5.1. МАШИННО ИНЖЕНЕРСТВО

Повлияни от широкото машиностроително приложение на стомана C235, [6], с техники от машинното инженерство, решихме да презентираме два основни инженерни проблема, свързани от една страна с определяне на относителното отклонение от точността на изрязан контур и втори с морфологията на среза, оценена чрез параметъра Ra. Обектът на изследване е конструкционната стомана C235, химическия състав на която е посочена в табл. 2, а режимите на варяване на управляващите

фактори са поместени в табл. 3. На базата на анализа на тези два проблема е направено общото заключение за най-бързо развиваният и перспективен метод - лазерното рязане

Лазерното рязане (CO₂) на листов материал е икономически осъществим метод, подобряващ се с развитието на технологиите. Работи се директно с изхода на мощен лазер и компютър, чрез който е зададен режима на обработване. При процеса на рязане материалът се топи, изгаря или се изпарява (или е издухан от струя газ) оставяйки ръб с определена повърхност, съответстваща на параметрите на режима.

Операциите по лазерно рязане обикновено създават правилни модели в изрязана повърхност, известна като ивици. Големината от различни набраздявания, тяхната амплитуда и честотата влияят пряко върху качеството на повърхността.

Табл. 2. Химичен състав на стомана С 235

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu
≤0,22	≤0,05	≤0,60	≤0,30	≤0,040	≤0,040	≤0,30	≤0,012	≤0,30

Използваната апаратура е фибър лазер *Durma YLS-6000*, с общо предназначение за рязане на листов материал с дебелина на листовата стомана до 20 mm, с размери на листа до 4064x2032.

Табл. 3. Технологични режими при експериментиране на двата инженерни проблема.

Видове режими	Скорост	Скорост	Мощност	Мощност
	I-проблем	II-проблем	I-проблем	II-проблем
Горно ниво	3000	2200	2500	5000
Средно ниво	2600	1200	2300	4000
Долно ниво	2400	600	1700	3000

Решени са две инженерни задачи от които:

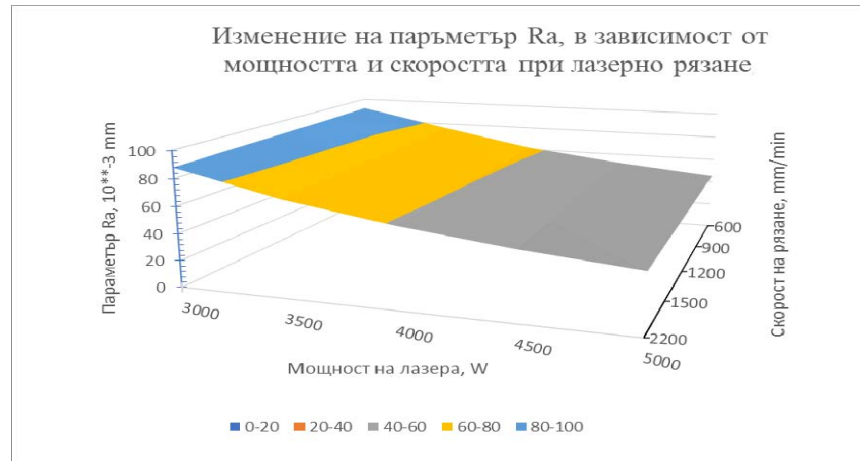
- 1) За дебелината на листовия материал - 3 mm е минимизирана грешката на отклонението от точността на формата. Алгоритъмът и решението е представено в [7].
- 2) За дебелината на листовия материал - 8 mm е проведен експеримент с използването на обобщена авторска методика [8] и е направен анализа на втория проблем. Решаването на втория проблем ще има допълнително разглеждане в друго наше изследване въз основа на което ще се определят режими, предизвикващи най-малка грапавост.

Табл. 4. Изменение на параметър Ra в зависимост от режима на лазерно рязане

P [W]	3000	3500	4000	4500	5000
V [mm/min]	Ra[μm]				
2200	87,78	70,98	59,06	50,21	43,56
1500	88,85	71,85	59,77	50,82	43,95
1200	89,45	72,34	60,19	51,17	44,26
900	90,26	72,99	60,73	51,63	44,66
600	91,41	75,92	61,5	52,29	45,23

На база на експерименталните данни е генерирана информация за стойностите на грапавостта на повърхността, оценена чрез параметъра Ra, табл. 4. За да изследва качеството на повърхността, се избира средната стойност на грапавост или аритметичната грапавост Ra. Грапавостта се определя като незначителна и периодично

повтарящи се нарушения на повърхността на материалите, с изключение на формата и вълнообразни разломи. Получената морфология на среза е резултат на огромното количество топлина, генерирано от местното разтопяване, което причинява и изпаряване на материала, както в последствие и бързо охлаждане. На фиг. 1. е представена графична интерпретация на данните от таблица 4.



Фиг.1 Графично представяне на експерименталните резултати от табл. 4.

ИЗВОДИ

След изведен модел в [7] анализа на числените резултати беше установено, че по-точните режими се изискват по-малка скорост без значение на мощността. По точните режими при по-големи налягания на газа се свързват с максимална скорост, а мощността се променя от най-ниска до средната за интервала на изменение. От решаването на вторият проблем се установи, че с намаляването на скоростта на рязане грапавостта се увеличава. По-малка грапавост се среща при режими с по-голяма мощност.

Основният извод, който може да се направи от това изследване е че, максимума и минимума на грешката на отклонението от точността не съвпада с максимума и минимума на параметъра Ra. Този извод поражда казуса, че ако изследователя иска да постигне максимална точност на формата и минимална грапавост е необходимо за съответната дебелина, материал и апаратура да дефинира и реши многокритериална задача, която беше представена в това изследване. Беше доказано, че за по-тънки листови материали е необходима по-малка мощност на лазера и по-малко вложена енергия. Тези материалите се режат по-бързо и с по-малко съпротивление, което изисква по-ниски нива на енергия при постигане на по-чисти срезове. Ефективният обхват при малки дебелини е приблизително до 1/4 инча (6 mm) дебелина, като обикновено процесът е рентабилен поради по-ниските изисквания за мощност и по-високите скорости на рязане. Качеството е отлично поради минималното топлинно изкривяване и високата прецизност. При решаването на втория проблем попадащ в групата на средна дебелина може да изискват умерени нива на мощност и енергия за ефективно рязане. Практиката показва, че често са необходими корекции на настройките за мощност на лазера и енергията, контролирана чрез скоростта на рязане. Правилният избор на технологичен режим трябва да балансира скоростта на рязане и мощност при удовлетворяване на качеството и точността на среза. Ефективният обхват на дебелините между 1/4 инча (6 mm) и 1 инч (25 mm). С подходящо оптимизиране на мощността и параметрите на рязане, материалите със средна дебелина могат да се режат с добро качество, въпреки че може да има известна зона, засегната от топлина (HAZ), особено към по-дебелия край на диапазона.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] E. Uhlmann, B. Mullany, D. Biermann, K.P. Rajurkar, T. Hausotte, E. Brinksmeier, Process chains for high-precision components with micro-scale features, CIRP Annals, Volume 65, Issue 2, 2016, Pages 549-572, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.001>.
- [2] Martin Feistle, Roland Golle, Wolfram Volk, Determining the Influence of Shear Cutting Parameters on The Edge Cracking Susceptibility of High-Strength-Steels Using the Edge-Fracture-Tensile-Test, Procedia Cirp, Vol. 41, 2016, Pages 1078-1083.
- [3] R.J Pallett, R.J Lark, The Use Of Tailored Blanks In The Manufacture Of Construction Components, Journal Of Materials Processing Technology, Volume 117, Issues 1–2, 2001, Pages 249-254, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01124-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01124-4)
- [4] Amit Sharma, Vinod Yadava, Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials – A review, Optics & Laser Technology, Vol. 98, 2018, Pages 264-280, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.08.002>.
- [5] M. Guardiola, J.I. Morales, J.M. Vergès, From blunt to cutting: Distinguishing alternating method flakes in early stages on rounded blanks, Quaternary International, Volume 411, Part B, 2016, Pages 378-385, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.039>
- [6] M. Zaied, E. Bayraktar, D. Katundi, M. Boujelbene, I. Miraoui, Effect of laser cutting parameters on surface quality of low carbon steel (S235), Vol 54, No1, IX 2012, 128-134.
- [7] Tontchev N.T., V.B.Georgiev, N.T. Dolchinkov N.I. Padarev, E. Yankov Methodology and Model for the Study of Relative Accuracy Deviation in Laser Cutting of C 235 steel, Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia, Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference, 2024.
- [8] Tontchev, N., Gaydarov, V., N. Hristov, N., "Analyses and applications using the computational approach "DEFMOT", Sofia, 2022, 167 p. (in Bulgarian).

CHARACTERISTICS AND APPLICATION OF THE METHODS OF CUTTING PREPARATIONS FROM MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT MANUFACTURING

Victor Boykov Georgiev

viktor_georgiev@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
158, Geo Milev, str., Sofia
BULGARIA*

Key words: blanks, guillotine cutting, gas flame cutting, laser cutting, laser cutting modes with certain precision roughness, C235

Abstract: The article is applied in nature, comparing the advantages and disadvantages of cutting methods related to mechanical engineering purposes, incl. and road construction and road transport equipment. Through comparison, the specificity of the methods and their features in terms of efficiency, precision and applicability are reflected. Special attention is paid to laser cutting and the parameters determining the desired quality of the cut in terms of its accuracy. This was done by defining two problems, where the results were analyzed after the calculations were performed.