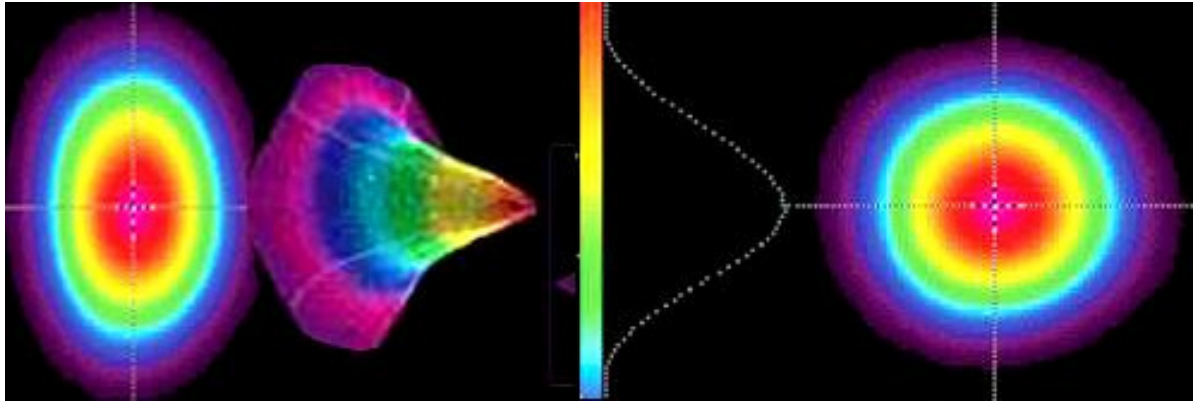


# ЛАЗЕРИ И ЛАЗЕРНИ ТЕХНОЛОГИИ



*Информационни материали*

# ЛАЗЕРНОТО РЯЗАНЕ В ИНДУСТРИЯТА

(Обзор)

## СЪДЪРЖАНИЕ

### 1. Въведение

### 2. Основи на технологичния процес на лазерно рязане

### 3. Основни технологични параметри

### 4. Технологични режими за рязане на различни материали с CO<sub>2</sub> - лазери

- Пластмаси (полимери)
- Композити
- Гума
- Дърво
- Други органични материали
- Кварц
- Стъкло
- Камъни
- Метали
- Въглеродна стомана
- Неръждаема стомана
- Легирани стомани
- Инструментални стомани
- Алюминиеви сплави
- Медни сплави
- Титан

### 5. Индустриални системи за лазерно рязане с CO<sub>2</sub> - лазери

- Конструктивни типове и основни технически характеристики
- Обзор на продуктите на по-известните производители

### 6. Индустриални лазери

- Устройство на индустриалния CO<sub>2</sub> лазер
- Основни технически и физични характеристики на индустриалните лазери, използвани за рязане
- Обзор на продуктите на по-известните производители

### 7. Компоненти на системите за лазерно рязане

- Система за транспортиране и фокусиране на лазерния лъч
- Оптико-механични възли за насочване на лъча
- Устройство за визуализация на основния лъч
- Оптична режеща глава
- Лазерна оптика

### 8. РЕФЕРЕНЦИИ

# ИНДУСТРИАЛНИ СИСТЕМИ ЗА ЛАЗЕРНО РЯЗАНЕ

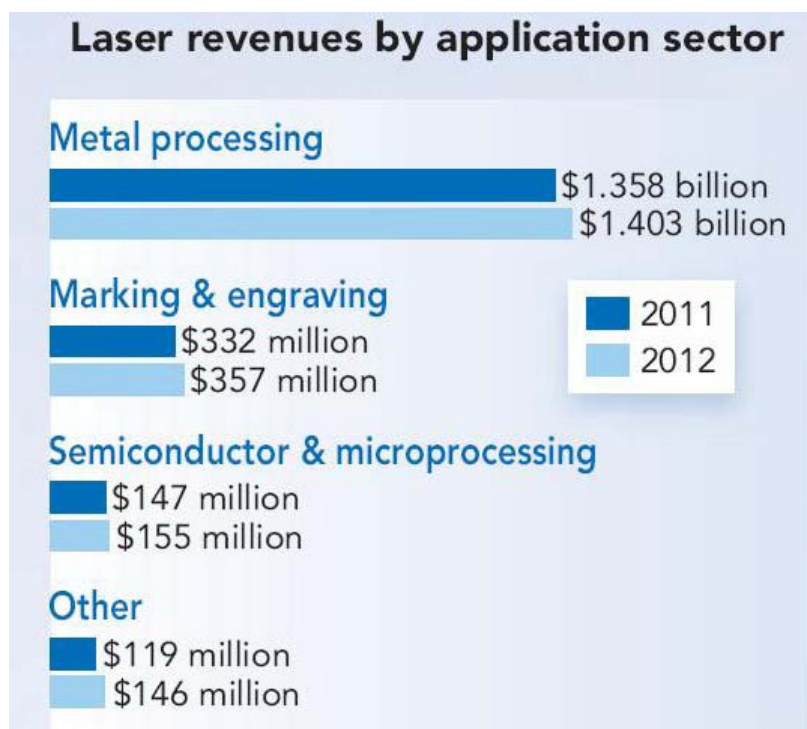
## ЛАЗЕРНО РЯЗАНЕ

### Въведение

Отдавна рязането на листови метали е станало основното приложение на лазерите в обработващата промишленост (1). Счита се, че още към 2005г. в света са инсталирани приблизително 12 000 системи за лазерно рязане на обща стойност от 4,5 млрд. долара.

Близо половината от това оборудване е инсталирано в източна Азия (вкл. Япония), останалата част - преимуществено в Европа и северна Америка..

Обзорът на световният лазерен пазар (2) за 2011г.. потвърждава тенденцията за стабилен ръст в използването на индустриалните лазери за обработка на материали.



Какво е лазерът (3).

Терминът ЛАЗЕР е абревиатура, съставена от първите букви на думите във фразата "усилване на светлината чрез принудително излъчване" на английски език (acronym **LASER** stands for **L**ight **A**mplification **S**timulated **E**mission **R**adiation).

Какво представлява лазерното рязане.

Лазерите за рязане са конструирани да концентрират голямо количество енергия в малко, добре оформено петно. Типичният диаметър на това петно е от порядъка на стотици микрони. Топлинната енергия, създадена от лазера, стопява или изпарява материалите в тази малка зона, а чрез подаване в зоната на работен газ (кислород, азот, CO<sub>2</sub> и др.) изпареният материал се издухва извън прореза.

Енергията на лъча се подава точно където е необходимо, с което се минимизира топлинното въздействие извън зоната на рязане.

## Предимства и недостатъци на лазерното рязане.

Лазерното рязане е обикновено с по-висока скорост в сравнение с водоструйното, при еднакви материали и дебелини. Лазерното рязане предизвиква появяването на град по среза, което може да бъде нежелателно при някои приложения.

Какви са ограниченията при лазерното рязане.

Много пластмаси при лазерно рязане се стапят и отделят токсични газове, които трябва да се вентилират в съответствие с действащите нормативи. Лазерите са неподходящи за рязане на дебели и силно отразяващи светлината материали, като алуминий и мед. Кристали, стъкло и други прозрачни материали са също неподходящи за лазерно рязане. В тези случаи водоструйното рязане е алтернативно решение.

Първото индустриално приложение на CO<sub>2</sub> лазерите е било прорязването на шперплатовите основи на щанците в опаковъчната индустрия (4). От това ранно приложение през 1972г., тази технология се е развила извънредно много и сега лазерите се използват с голям икономически и технически успех за рязане на почти всички материали. Беглият преглед на достъпната литература показва един огромен спектър от приложения, от пробиването на бебешките биберони до изрязването на суперсплавите в аерокосмическата промишленост.

Процесът на лазерното рязане има редица преимущества в сравнение с конкурентните технологии, които обясняват растежа на този отрасъл:

1. Това е безконтактен процес, което означава, че материалът трябва само да бъде леко закрепен или просто позициониран под лъча. Гъвкави и крехки материали могат да бъдат рязани с висока прецизност, без риск за разрушаване, което обикновено става при механичните методи на рязане.

2. Широчината на среза е извънредно малка (обикновено между 0,1 и 1,0мм) и много детайли могат да бъдат произведени без ограничения за минимални вътрешни радиуси, каквито съществуват при фрезването и при други подобни механични процеси.

3. Процесът е напълно ЦПУ-контролиран. Това, съчетано с липсата на необходимост от сменяеми приспособления, позволява за секунди да се премине от рязане на детайл „А” от метал към рязане на детайл „Б” от пластмаса.

4. Въпреки че лазерното рязане е термичен процес, реалната зона на нагряване е много малка и по-голямата част от нагретия материал се отстранява в процеса на рязането. Ето защо топлината, въведена в обема на материала, е минимална, засегнатите от топлината зони минимални, а топлинните деформации са почти изключени.

5. Лазерното рязане е с по-висока скорост в сравнение с другите методи за обработване по контур. Например, типичният 1200 Вт. лазер реже 2 мм черна стомана със скорост 6 м/мин, а 8 мм акрилов лист - със скорост 12 м/мин.

6. В болшинството от случаите (в т.ч. горните примери), отрязаните детайли могат да се използват веднага, без никакви почистващи операции.

7. Присъщия на процеса ЦПУ-контрол, тесните срезове и липсата на механични сили върху листа позволява максимално доближаване на изрязваните детайли един до друг, т.е. минимизиране на отпадъка от рязането.

8. Въпреки че капиталните разходи за лазерна машина за рязане са съществени, текущите разходи са обикновено много ниски. Съществуват много случаи в индустрията, когато големи лазерни инсталации са се откупували в течение на една година.

9. Процесът е изключително тих в сравнение с конкурентните технологии, което подобрява работната среда и повишава ефективността на персонала.

10. Лазерните машини са несравнимо по-безопасни в експлоатация в сравнение с механичните им аналози.

## Основи на технологичния процес

Базовият механизъм на лазерното рязане е извънредно прост и може да се сведе до следното:

а/ Лазерът генерира високо интензивен лъч инфрачервена светлина.

б/ С помощта на лещи, този лъч се фокусира върху повърхността на детайла.

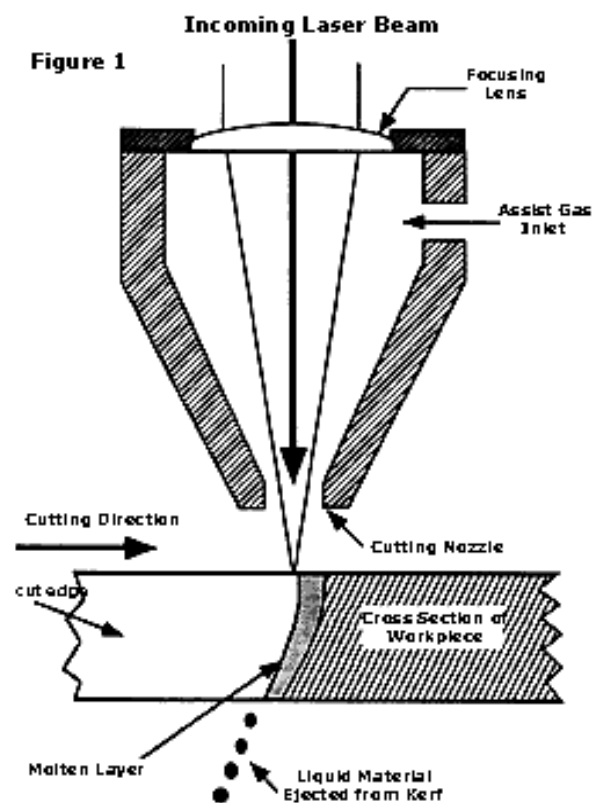
в/ Фокусираният лъч нагрява материала и образува силно локализирана разтопена зона (обикновено с диаметър под 0,5 мм) през цялата дебелина на листа.

г/ Разтопеният материал се отстранява от зоната с помощта на газова струя с високо налягане, действаща коаксиално с лазерния лъч. При някои материали този газ може да ускори процеса на рязане, изпълнявайки не само физически, но и химически функции. Така например, стоманата се реже със струя от чист кислород, при което възбудената от лазерната топлина реакция на окисляване генерира своя собствена топлина и с това съществено подобрява ефективността на процеса.

д/ Тази локализирана зона от отстраняван материал се движи напречно на повърхността на листа, което генерира рязането. Движението се постига с придвижване на лазерното петно чрез управляеми огледала или чрез механическо движение на листа посредством управляема дву-координатна работна маса. Възможни са и хибридни схеми, при които по едната ос се придвижва лазерното петно, а по другата материала.

Лазерното рязане на металите (5) и повечето от другите материали се извършва по два подобни метода. Първият – топлинно рязане със спомагателен газ – представлява концентриране на светлината от лазера върху повърхността, така че материалът да се стопи. Стопеният материал след това се отстранява от протичащия под високо налягане газ. Вторият метод – реактивно рязане със спомагателен газ – е същият, с една разлика: спомагателният газ взаимодейства химически с материала и обезпечава повече енергия за процеса. Типичното разположение на оборудването е показано на Фиг.1.

Лазерният лъч, насочен вертикално надолу на чертежа, се фокусира от лещата върху повърхността на разрязвания материал. Пространството между лещата и материала е затворено от камера, в която се създава налягане от спомагателния газ, излизащ през дюзата към повърхността на материала. Това разположение понякога се нарича „**коаксиална** газова-струйна режеща дюза”.



Важните характеристики на този процес са:

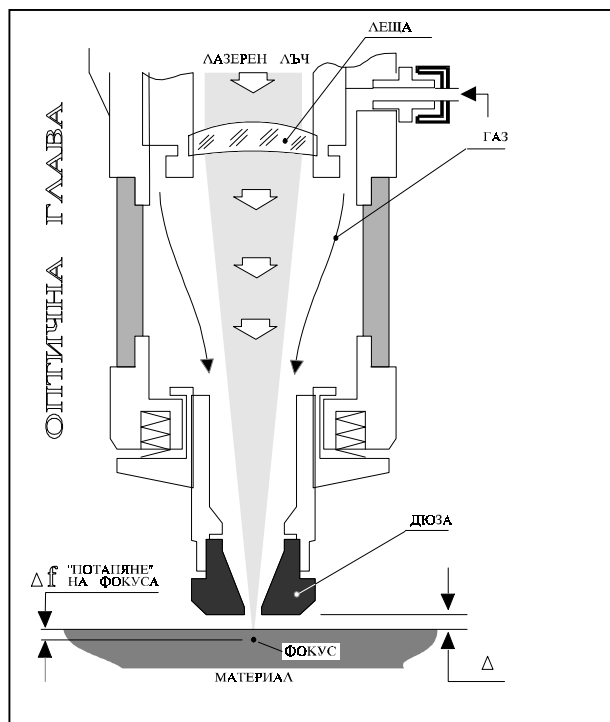
- Металите се стопят, не се изпаряват. Това означава, че лазерното рязане работи добре само когато лъчът преминава напълно през материала, така че стопеният материал да бъде изведен от прореза. Това означава също така, че процесът предполага образуването на град – полепване на стопен метал върху детайла.

- Металът се отстранява от газа, не от лазера. Лазерът служи само като източник на топлина, която стапя метала. Повечето от величините, влияещи върху процеса на рязането, са свързани не с лазера, а с газовия поток.

Предният ръб на среза е леко отклонен от вертикала. Това означава, че процесът е много чувствителен към поляризацията на лазера и че ако материалът стане много дебел, лъчът няма да достига долния ръб на среза.

## Основни технологични параметри

Основните параметри, определящи технологичния процес на лазерната обработка на материалите са както следва:



1. Вид на технологичния процес (рязане, заваряване, закаляване).
2. Тип на обработвания материал.
3. Фокусно разстояние на лещата в оптичната технологична глава, мм.
4. Оперативна мощност на лазерния лъч, W.
5. Линейна скорост на обработката, м/мин.
6. Вид и налягане на технологичния газ, атм.
7. Положение на фокуса спрямо повърхността на обработвания материал:

- "потопяне"  $\Delta f$  (разстояние повърхност-фокус), мм
- " $\Delta$ " - разстояние дюза-повърхност, мм.

Въпреки че CO<sub>2</sub> лазерите са способни да генерират лъч с извънредно голяма топлинна плътност, не е коректно да се твърди, че те могат да изпаряват и режат всички познати материали (6). Всеки материал има свои уникални качества по отношение светлинно въздействие и не всички от тях подхождат на ефекта на CO<sub>2</sub> лазерите. Ето защо въпросът за целесъобразността от използването на лазера за рязане на даден материал се свежда главно до способността му да поглъща добавената енергия. Това взаимодействие зависи от три ключови фактора :

- състоянието на повърхността – колко добре по принцип поглъща енергия
- свойствата на топлинния поток – неговите коефициенти на топлинна дифузия и проводимост
- изискванията към топлината, необходима за промяната на фазата на материала – количеството топлина, необходимо да промени фазата, специфичната топлина и топлина на изпаряване.

Следващата информация е предназначена да даде обща представа за основните категории материали, имайки пред вид тези фактори.

## **Неметали**

По принцип неметалите абсорбират добре инфрачервената енергия като тази на CO<sub>2</sub> лазерите. Също така те са по принцип лоши проводници на топлина и имат сравнително ниски температури на топене. Ето защо енергията на фокусирувания лъч почти напълно се пренася в петното в материала и гарантирано ще изпари отвор в него.

### **Пластмаси (полимери)**

Лазерите са намерили приложение в много машинни операции върху пластмаси поради способността си да режат детайли със сложна геометрия при високи скорости без контакт с материала. Тъй като лазера е един интензивен източник на топлина, той използва енергията си за да изпари връзките и да разруши полимерните вериги на материала.

Термо-пластмасите с относително ниски температури на топене, обикновено показват чисти срезове с полирани от пламъка ръбове, като резултат от повторно втвърдената стопилка. Чрез управлението на процеса може да се постигне отсъствието или минимизиране на наличието на балончета или грапавини на обратната страна на среза.

Доколкото издръжливостта на полимерите на опън нараства това има корелация с нарастването на изгарянията по протежението на среза. По-голямата интензивност на енергията за единица време, необходима за прекъсване на по-здравите вериги води до появата на изгаряния. Приемливи резултати се получават с полиестери и поликарбонати, доколкото там обикновено има слой от декомпозирани материал по продължението на среза от феноли, полиамиди и ПВХ.

Като предупреждение – при рязането на някои полимери, като лусайт и ПВХ, се появяват в резултат на горенето потенциално опасни и/или корозионни газове, които трябва да бъдат отведени и филтрирани по подходящ начин.

### **Композити**

Новите леки влакнесто-усилени полимери са трудни за обработка с конвенционалните режещи машини. Това доведе до много приложения на не контактните режещи възможности на лазера. Най-вече при слоестите ламинирани плоскости, тънки стъклено-влакнести импрегнирани листи с дебелина до 0,5 мм могат да бъдат крайчвани или форматирани със скорост над 40 м/мин без залепяне след режещата машина. Топлината при лазерното рязане разтопява краищата и предотвратява разнищването.

За дебелослойните и пълно-вулканизирани композитни (в частност борон и карбон) влакнести материали, има висока вероятност от изгаряния и термични дефекти по линията на среза, което намалява приложението на лазерите. Ето защо при рязането на полимерите усилията трябва да се насочат към отстраняването на пламъка.

### **Гума**

Естествените и синтетични гуми се изпаряват лесно от фокусирувания лазерен лъч до дебелини около 20 мм. Това позволява прецизно изрязване на гумени детайли като уплътнения.

Гуми усилен с метални нишки също могат да се режат, но при значително по-ниски скорости поради нуждата от по-голяма енергия за единица време за разрязване на нишките.

Предимството на лазерното рязане е в липсата на опасност от разтягане или от разрушаване на материала, характерни при рязането с механични методи. Свежо отрязаните детайли са леко лепливи по протежение на среза, така че изискват внимание при последващата им обработка. В допълнение някои гуми, в частност съдържащите въглеродни сажди, могат да изискват допълнителни почистващи операции за премахване нагара по среза.

### **Дърво**

Лазерите предлагат много атрактивни предимства при рязането на дърво, шперплат и ПДЧ. В частност, те позволяват тесни прорези от 0,3 – 0,8 мм, липса на отпадъци, възможността да се следва произволен контур, липсата на износване на машината и на шум. Докато срезът от лазерния лъч е чист от неравности, разкъсвания и мъхести участъци, характерни при рязането с механични технологии, той се характеризира с „обгорени“ краища

в резултат от топлината. Този ефект се засилва с увеличаването на дебелината на материала, което намалява скоростта на рязане .

Докато лазерите са вече общоприети при изрязването на гнездата за ножовете в щанците за опаковки, то при останалите приложения в дървообработващата промишленост разпространението им се задържа поради сравнително високите първоначални разходи. За лазерите с мощност няколко киловата, дебелината на материала при рязане е до 75 мм за дървото и 25 мм за шперплат и ПДЧ.

### **Други органични материали**

Материалите на основата на хартия,кожи,изкуствен и естествен текстил могат лесно да се режат с лазери. Малката дебелина и високата горимост на тези материали минимизират необходимата мощност на лазера до няколко стотици вата. Краищата на среза са чисти и без разръфване.

### **Кварц**

Тъй като има относително нисък коефициент на термично разширение кварцът се реже добре с лазери. Тъй като се създава термично активна зона в близост на среза получените ръбове са гладки и не изискват финишни операции за разлика от механичното рязане. Материал с дебелина до 10 мм може да бъде рязан със скорости няколко пъти по-високи от механичното рязане и без никакви ударни сили върху детайла.

### **Стъкло**

За разлика от кварца повечето стъкла са податливи на топлинен шок и по тази причина обикновено не подлежат на лазерно рязане. Импулсната топлина на лазерния лъч обезпечава процеса на рязане чрез изпаряване и чрез издухване на стопеното стъкло от зоната на рязане.

Някои материали, като боросиликатите, имат нисък коефициент на разширение и при подходящ температурен цикъл могат да понесат топлината на лазера.

Обаче повечето форми на стъклото,включително натриевите изпитват термичен шок и в резултат се получават пропуквания по протежение на среза. Също така в зависимост от характеристиките на топенето на отделните стъкла ще има в различна степен капки втвърден материал по краищата и под среза.

### **Камъни**

Доколкото имат свойството да абсорбират топлинната енергия от лазера гранитът, циментът, камъка и различните минерали не са подходящи за лазерно рязане.

Експлозивността на нагрятата влага в материала може да доведе до нежелателни пропуквания.Освен липсата на еднородност в структурата си камъните и скалните породи имат обикновено дебелина над 25 мм,което надхвърля много реалните възможности на лазерите.

### **Метали**

Въпреки че при стайна температура почти всички метали силно отразяват инфрачервената енергия, СО2 лазерите с 10,6 микрона дължина на вълната имат широко приложение в рязането на металите. Началната абсорбция може да съставлява 10% или дори 0,5% от падащата енергия. Обаче, фокусирането на лъча обезпечава плътност на енергията от над 1 милион вата на квадратен сантиметър и бързо /в порядъка на микросекунди/ предизвиква повърхностно стапяне. Абсорбционните характеристики на повече-то метали в стопено състояние нарастват драматично и абсорбирането на енергията достига до 60% - 80%.

### **Въглеродна стомана**

Стандартните стомани до 16 мм подлежат на лазерно рязане с помощен газ кислород. Прорезът е тесен/под 0,1 мм при тънък материал/ и като резултат температурно активираната зона е незначителна, особено при черни и ниско въглеродни стомани. В същото време срезът е гладък, чист и правоъгълен. Установено е,че наличието на шупли от фосфор и сяра в черните стомани предизвиква пригар по протежение на среза, както и че студено валцованите стомани се режат по-качествено в сравнение с топло валцованите стомани.По-

голямото съдържание на въглерод в стоманата леко подобрява качеството на среза тъй като увеличава твърдостта ѝ.

### **Неръждаема стомана**

Лазерите са основния инструмент за производството на листови детайли от неръждаема стомана. Контролираната енергия на лазерния лъч минимизира зоната на повишена твърдост по протежение на среза и от там съхранява корозионната устойчивост на материала. Тъй като неръждаемата стомана не реагира така ефективно на подавания като спомагателен газ кислород както черната стомана, скорост-та на рязане е малко по-ниска при еднакви дебелини. За сметка на около 50% от скорост-та на рязане при кислород, рязането с инертен газ води до получаването на чист от окиси срез, готов за заваряване.

Мартензитните и феритни стомани /400 серия/ дават качествен гладък срез. Присъствието на никел в аустенитните /300 серия/ стомани въздейства върху свързването и пренасянето на енергията в материала. В частност вискозитетът на стопения при рязането никел предизвиква движението му и полепването му по задния ръб на среза.

Струята от газ с високо налягане елиминира шлаката при дебелина на материала до 1 мм.

При по-дебел материал се образува шлага с дебелина 0,5мм и повече.

### **Легирани стомани**

Доколкото при легираните стомани количеството и разпределението на примесите е строго контролирано, те са особено подходящи за лазерно рязане. Високата якост на материала /например хром-никеловите сплави/ се отразяват на качеството на среза, който е перпендикулярен и гладък.

### **Инструментални стомани**

Подобно на легираните стомани, повечето инструментални стомани се под-дават добре на лазерно рязане. Най-забележителните изключения са волфрамовата рапидна и волфрамовата закалена стомани, които задържат топлината в разтопено състояние и в резултат се получава срез с обгаряния и шлага.

### **Алуминиеви сплави**

Поради високата си термична проводимост и отражателна способност спрямо вълни с дължината на CO<sub>2</sub> лазерите, алуминиевите сплави изискват значително по-голям енергиен интензитет при началното зарязване в сравнение със стоманите. Това означава мощност минимум 500Вт и прецизно фокусиране на лъча. Поради намалената поглъщаща ефективност, дори 1 – 2 Квт лазери имат ограничена възможност за рязане на дебелини над 4 мм.

По време на рязането, спомагателния газ служи предимно за издухване на стопения материал извън зоната на рязане. Това помага да се постигне качество на ръба по-високо от рязането с циркуляр. Обаче, стопеният материал има склонност да протича по ръба на среза и да полепва по него. Но докато тази шлага е лесно отстранима, при лазерното рязане се появяват вътрешно кристални пропуквания по повърхността на среза при някои сплави. Именно тези пропуквания ограничават приложението на лазерите в производството на структурни компоненти като например самолетните.

### **Медни сплави**

Способността на медта да абсорбира енергия от CO<sub>2</sub> лазер е по-ниска и от тази на алуминия. Поради голямата ѝ отразяваща способност медта по принцип не подлжи на лазерно рязане. От друга страна бронзът абсорбира част от енергията. При рязане се държи като алуминия по отношение дебелините и качеството на среза – с шлага по задния ръб.

### **Титан**

Чистият титан възприема добре концентрираната енергия на фокусирувания лазерен лъч. Използването на кислород чувствително увеличава скоростта на рязане, но в същото време образува окислен слой по повърхността на среза. Самолетните сплави като 6AL-4V са склонни да образуват шлага по долната страна на среза, но тя е лесно отстранима.

Препоръчителни режими за лазерно рязане на различни материали са представени в табл. 1 ("Технологични инструкции за лазерна обработка" - "Оптела-Оптични технологии" АД)

## ЛАЗЕРНО РЯЗАНЕ \*

Материал	Дебелина , мм	Скорост, м/мин	Мощност ,W	Δf, мм	Налягане и вид на газа, атм
Нисковъглеродна стомана (АСт 3) ***	1	3.5	500	1	3.0 (O <sup>2</sup> )
	2	1.8	500	1	2.7 (O <sup>2</sup> )
	2	3.5	1000	1	2.5 (O <sup>2</sup> )
	3	1.2	500	1	2.2 (O <sup>2</sup> )
	3	2.2	1000	1	2.0 (O <sup>2</sup> )
	5	1.1	1000	1	1.5 (O <sup>2</sup> )
	8	0.7	1000	1	1.2 (O <sup>2</sup> )
Легирана стомана (X18H9T) ***	1	3.5	500	1	3.0 (O <sup>2</sup> )
	2	1.5	500	1	3.0 (O <sup>2</sup> )
	2	3.0	1000	1	2.7 (O <sup>2</sup> )
	3	0.7	500	1	2.5 (O <sup>2</sup> )
	3	1.8	1000	1	2.2 (O <sup>2</sup> )
	5	1.0	1000	- 2.5	2.0 (O <sup>2</sup> )
Стомана P18 Стомана ШХ15 (лагерна) Стомана 65Г (пружинна) Стомана Р6М5 (инструментална) Биметал Поцинкован метал	5.0	0.8	1000	1	3.5 (O <sup>2</sup> )
	5.0	1.2	1000	1	2.5 (O <sup>2</sup> )
	1.5	1.5	600	1	2.5 (O <sup>2</sup> )
	5.0	0.9	1000	1	2.5 (O <sup>2</sup> )
	1.0	1.3	250	1	4.5 (O <sup>2</sup> )
	3.0	1.2	600	1	2.5 (O <sup>2</sup> )
Дуралуминий - АМг ** “ “ Месинг **	1.0	2.0	1000	4	4 (въздух)
	2.0	0.7	1000	4	4 (въздух)
	3.0	0.3	1000	5	4 (въздух)
	2.0	0.7	1000	2	4 (въздух)
Изкуствен гъон Текстил за мебели (бслоен) Плексиглас “ “ Дървесна плоскост - ПДЧ Шпертплат Фаянс Кварцово стъкло (тръба)	7	3.0	1000	5	4 (въздух)
	10	3.0	500	5	3.5 (аргон)
	2	4.0	200	1	3.5 (въздух)
	5	4.0	500	1	3.0 (въздух)
	25	0.6	1000	5	3.5 (въздух)
	18	1.5	1000	5	3.5 (въздух)
	11	4.0	1000	5	3.5 (въздух)
	8	0.6	1000	3	4.0 (въздух)
	1.3	2.0	700	1	2.5(въздух)

**ЗАБЕЛЕЖКИ:** \* Използва се леща с фокусно разстояние 127 мм.

\*\* Използва се поглъщащо покритие.

\*\*\* Ширина на среза от 0.3 до 0.8 мм; клас на грапавост Rz от 60 μm до 320 μm