

Uporaba

tekočnega dušika

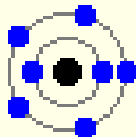
ELEMENT :

7

14.0067

N**Dušik / Nitrogen**

N 7



2, 5

SPLOŠNE LASTNOSTI

| | |
|------------------------------|----------------------|
| SIMBOL - slo. ime / lat. ime | N - Dušik / Nitrogen |
| Vrstno število | 7 |
| Molska masa | 14.0067 g/mol |
| Skupina / Perioda | V.S / 2.P |

DODATNE OPISNE LASTNOSTI

Brezbarven plin brez vonja in okusa, v vodi le malo topen (udi v tekočem in trdnem stanju je brezbarven); je kemijsko precej nereaktiven, kar je posledica zgradbe - trojne vezi. Pri običajni temperaturi reagira le z litijem, pri višjih pa tvori tudi spojine z elementi kot sta Ca in Mg :

$3\text{Mg} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$ nastanejo nitriti.

Izotopi :

| | |
|-----------|---------------------------------|
| Oznaka | ^{14}N ^{15}N |
| Nahaja se | |

- Zgodovina elementa :
- letnica odkritja : 1772
- kdo je odkril : Rutherford
- kako je bil odkrit :

NAHAJALIŠČE

Največ dušika v naravi je v elementarnem stanju v ozračju (78.1 vol.%). Poleg tega pa je prisoten v spojinah, organsko vezan v beljakovinah (pri razkroju nastaja amoniak NH_3) in anorgansko v mineralih; čilski soliter (NaNO_3), norveški soliter (K_2NO_3) in industrijsko pridobljen $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

PRIDOBIVANJE

V industrijskem merilu pridobivamo s frakcionirano destilacijo zraka (fizikalno) ali pa z vezavo zračnega kisika na koks (generatorski plin): $4\text{N}_2 + \text{O}_2 + 2\text{C} \rightarrow 4\text{N}_2 + 2\text{CO}$, na žareči baker (kemijsko).

V laboratorijih pa ga pridobivamo iz spojin: $\text{NH}_4\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, s termičnim razkrojem.

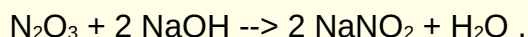
| | | |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agregatno stanje | Plin | UPORABA |
| Opis izgleda | Brezbarven dvoatomarni plin, brez vonja, nereaktiven | V industrijskem merilu se uporablja za pridobivanje amoniaka po Haber-Boschevem postopku za pridobivanje NH_3 in dušikove kisline. Kot plin se uporablja za inertno atomsfero v metalurgiji in kemijskih procesih, tekoči dušik (pod -196°C) pa kot hladilno sredstvo. |
| FIZIKALNE LASTNOSTI | | SPOJINE ELEMENTA |
| Gostota | 1.251 g/L (pri 273 K) | Amoniak - (NH_3) ; je plin z značilnim ostrim vonjem, zelo dobro topen v vodi, higroskopen, je reducent. Z vodo protolitsko reagira, s kislinami dobimo soli: $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$, z mnogimi kovinskimi solmi pa kompleksne spojine: $\text{CuSO}_4 + 4 \text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$. |
| T tališče | 63.15 K | <i>Tekoči amoniak</i> je vodi podobno topilo. V njem reagirajo reagirajo amonijeve soli kot kisline, amidi pa kot baze. Nevtralizacija poteka po enačbi: $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_2^- \rightarrow 2 \text{NH}_3$. V tekočem se raztapljajo tudi alkalijske in zemeljskoalkalijske kovine. Molekula NH_3 je polarna in je dobro topilo za polarne spojine, tvori tudi vodikove vezi in je v trdni in tekoči obliki podoben vodi. Tehnično se amoniak pridobiva po tako imenovanem Haber-Boschevem postopku. Reakcijsko zmes dobimo v plinskem generatorju na razžarjeni koks z izmeničnim vpihavanjem zrak : |
| T vrelišče | 77.344 K | |
| Entalpija uparovanja | 2.7928 kJ/mol | |
| Toplotna prevodnost | 0.02598 W/mK (pri 300 K) | $4\text{N}_2 + \text{O}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{CO}$, in vodno paro : $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$, nastali CO_2 nato raztopimo v vodi pri povišanem tlaku. Amoniak nastaja po ravnotežni reakciji : $3 \text{H}_2 (\text{g}) + \text{N}_2 (\text{g}) \leftrightarrow 2 \text{NH}_3 (\text{g})$, kjer so optimalni pogoji relativno visok tlak in relativno nizka temperatura, kot katalizator se uporablja železo. V laboratoriju dobimo amoniak s predvidenim segrevanjem amonijevih soli s hidroksoidi : |
| Električna prevodnost | / | |
| Specifična toplotna kapaciteta | 1.042 J/gK (pri 300 K) | $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ |
| Ionski potencial | 1398.8 kJ/mol | Uporablja se za kemijske sinteze : za pridobivanje dušikove(V) kisline in njenih derivatov (gnojil, eksploziv, barvil,...), za amonijeve soli, sečnino, vodikov cianid, amine in amide ipd. |
| Elektroafiniteta | 4.8 kJ/mol | |

**KEMIJSKE IN STRUKTURNE
LASTNOSTI**

| | |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Oksidacijsko število | -3, -2, 0, +1, +2, +3, +4, +5 |
| Elektronska konfiguracija | 1s ² , 2s ² , 2p ³ |
| Elektronegativnost | 3.04 |
| Atomski radij | 0.92 Å |
| Kovalentni radij | 0.75 Å |
| Kristalna struktura | Heksagonalna (hex) |
| Kislinsko - bazične lastnosti | Kiselkast |

Raztopina amoniaka v vodi obstaja v ravnotežju: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$, vsebuje ione **amonijevega hidroksida (NH₄OH)**. Je šibka baza, iz katere nastajajo amonijeve soli. Uporablja se za nevtralizacijo kislin, kot sredstvo za raztapljanje CuO v čistilih za kovine, za umetna gnojila.

Dušikov(III) oksid - (N₂O₃); (tudi dušikov trioksid) je modrozeleno tekočina, ki se pod 2°C pretvori v svetlo modre kristale. Je metastabilen in razpada: $\text{N}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{NO}$. Je anhidrid dušikove(III) kisline in z vodo tvori kislino: $\text{N}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_2$, z bazami pa tvori ustrezne soli nitrate(III):



Dušikov(V) oksid - (N₂O₅); (tudi dušikov pentaoksid) je v obliki brezbarvnih eksplozivnih kristalov, ki burno reagirajo z vodo v dušikovo(V) kislino (je njen anhidrid): $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_3$. Je močan oksidant, ki razpade na dušikov trioksid in kisik: $2 \text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 2 \text{N}_2\text{O}_3 + \text{O}_2$.

Dušikova(V) kislina - (HNO₃); čista je brezbarvna tekočina, sicer rumenkasta zaradi delnega razpada pod vplivom sončne svetlobe v dušikov dioksid: $4 \text{HNO}_3 (\text{aq}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{NO}_2 + \text{O}_2 (\text{g})$. Je zelo reaktivna, obnaša se kot kislina, oksidant in reagent za nitriranje. Odlikuje se po kislinski reakciji: $\text{HNO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$ (delokalizacija e⁻ v strukturi aniona stabilizira njegov nastanek). Vodna raztopina je srednje močna kislina, z hidroksidi tvori soli nitrate(V). Sama in njene soli so oksidanti; oksidirajo P in S do okso kislin: $\text{S} + 6 \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{NO}_2$.

Svetovno se v velikih količinah pridobiva z Oswaldovim postopkom: V prvi stopnji se pridobi NO z oksidacijo amoniaka: $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$, v nadalje se oksidira do NO₂, ki se v absorpcijskih stolpih raztaplja v vodi: $4 \text{NO} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{HNO}_3$. Tako dobimo koncentrirano, 60% raztopina dušikove(V) kisline. *Koncentrirana dušikova(V) kislina je strupena reaktivna snov z*

DUŠIKOVI OKSIDI:

Dušikov(I) oksid - (N₂O); brezbarven, prijetno sladkobno dišeč plin (smejalni plin), v vodi zmerno topen ni strupen.

Nastane pri segrevanju amonijevega nitrata(V):
 $\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 2 \text{H}_2\text{O}$; pri reakciji dušikovodikove kisline z dušikovo(V) kislino : $\text{HN}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow 2 \text{N}_2\text{O} + 2 \text{H}_2\text{O}$. Zelo pripraven način sinteze N_2O iz amonijevega sulfata in natrijevega sulfata, ki je veliko bolj varen od segrevanja amonijevega nitrata: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2 \text{NaNO}_3 \rightarrow 2 \text{N}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 4 \text{H}_2\text{O}$. Pri vdihavanju povzroča občutek omotičnosti, v zmesi z kisikom pa se še vedno uporablja kot anestetik.

Dušikov(II) oksid - (NO) ; brezbarven, strupen, v vodi netopen, zelo reaktiven plin, s kisikom se spaja v rjav NO_2 : $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$, je tudi ligand (donor elektronov, ki se koordinativno vežejo v komplekse). Lahko je oksidant: $\text{NO} + \text{Mg} \rightarrow \frac{1}{2} \text{N}_2 + \text{MgO}$, ali pa reducent: $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$. V zmesi z vodikom eksplodira: $\text{NO} + \text{H}_2 \rightarrow \frac{1}{2} \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Nastaja pri reakcijah dušikove(V) kisline s kovinami: $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \rightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$. Dušikov oksid pa dobimo tudi pri katalitičnem sežigu amoniaka : $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$, sintetiziramo ga lahko z oksidacijo atomsferskega dušika, pri pihanju skozi električni lok . To je tako imenovani Birkeland-Eyderjev postopek : $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}$.

Dušikov(IV) oksid - (NO₂) ; temno rjav, dušljiv, zelo strupen plin, ki konsenzira v

neprijetnim vonjem, je tudi močan oksidant in reagira z bakrom, srebrom in z živim srebrom, pri čemer nastanejo ustrezne soli in nitrozni plin - raztaplja žlahtne kovine, med tem ko nekatere kovine ne reagirajo s koncentrirano kislino, se pred njo pasivizirajo, tvorijo obrambno oksidno plast (železo, aluminij, nežlahtne kovine). *Razredčena* raztopina pa ne raztaplja žlahtnih kovin, ampak nežlahtne in z njimi daje ustrezne soli, nitrata(V) : $\text{Zn} + 2\text{HNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2$ (*glej* - nitrati).

Uporaba dušikove(V) kisline in nitratov(V) je zelo široka. Kislina se uporablja kot nitrirno sredstvo, v proizvodnji razstreliv, za pridobivanje umetnih gnojil, zlasti NH_4NO_2 ipd.

Dušikova(III) kislina - (HNO₂) ; je blede modra vodna raztopina, obstojna le kot hladno razredčena, je trmično nestabilna in disproporcionira : $3\text{HNO}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{HNO}_3(\text{aq}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$. Njena vodna raztopina ja šibka kislina, ki disocira : $\text{HNO}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_2^-$. Lahko reagira kot oksidant in kot reducent; oksidant: $2\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow 2\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$, reducent: $2\text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{H}^+ + 2\text{e}^-$. Njene soli **nitrati(III)**, v vodi so lahko topne, strupene in dajo z močnimi kisljinami rjav niterozni plin, npr. : $2\text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO} + \text{NO}_2$, in so obstojnejši od same kisline.

Pridobivamo jo z uvajanjem zmesi nitroznega plina v vodo : $\text{H}_2\text{O} + \text{NO} + \text{NO}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_2$, ali pa z močimi kisljinami iz njenih soli : $\text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{NaHSO}_4$.

Uporablja se pri sintezah barvil.

Dušikov triklorid - (NCl₃) ; je temno rumena oljnata eksplozivna tekočina, z ostrim vonjem.

Dušikova gnojila :

Tržne oblike

Tekoči amoniak

NH_3

rdečerjavo tekočino, v trdni obliki pa se nahaja v obliki brezbarvnih kristalov. Je osnovna sestavina za nitronih plinov, ki nastajajo pri reakciji dušikove(V) kisline s kovinami: $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, pri segrevanju nitratov(V) težkih kovin: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbO} + 2\text{NO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$, pri razkroju ntratov(III) s kislinami, tudi pri avtogenem varjenju in sijajnem jedkanju medenine in bakra. Dušikov dioksid reagira z vodo, nastane zmes dušikove(III) kisline HNO_2 in dušikove(V) kisline HNO_3 : $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{HNO}_3$. Z bazami daje ustrezne soli.

Je v ravnotežju s svojo dimerno obliko (didušikov tetraoksid): $2\text{NO}_2 \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4$, ki brezbarvna in termično neobstoja.

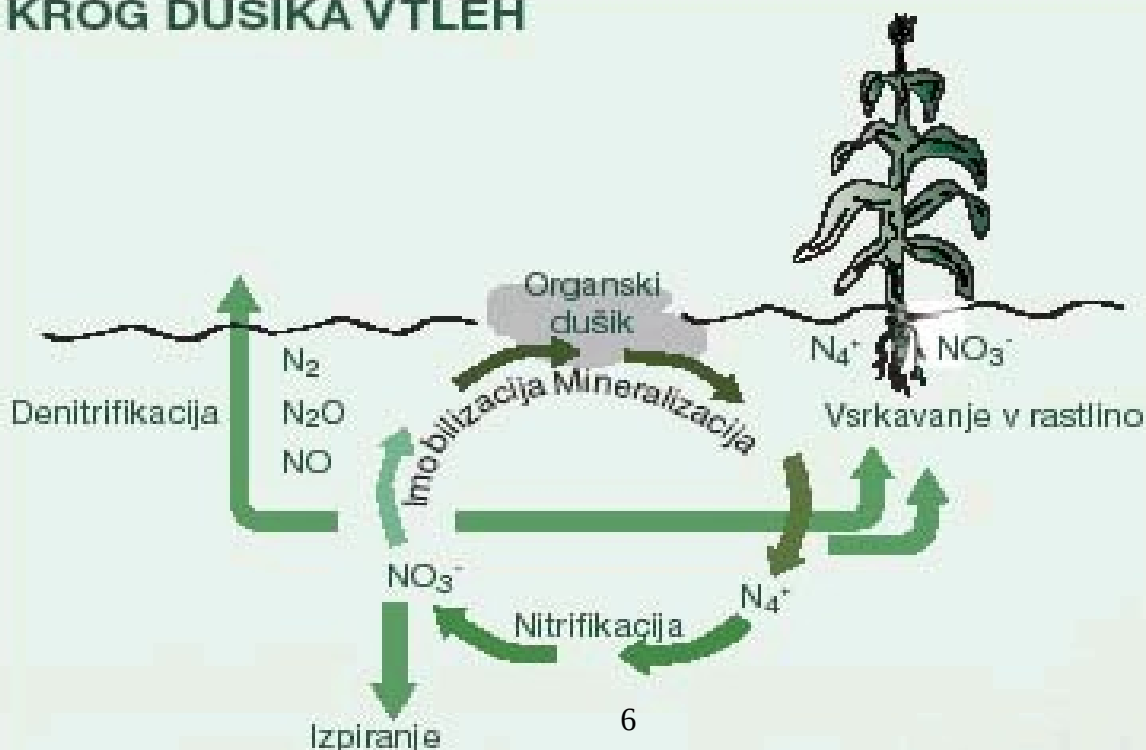
| | |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Sečnina | $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ |
| Amonijev sulfat(VI) | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ |
| Amonijev sulfat(VI) in amonijev nitrat(V) | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ |
| Apeni amonijev nitrat(V) | NH_4NO_3 (~60%) + CaCO (~20-25%) |

Umetna gnojila so predvsem kalijeve, dušikove in fosforjeve spojine. Največ uporabljamo *mešana* in *NPK gnojila*. *Mešana gnojila* pripravljajo z mešanjem enostavnih gnojil. *NPK gnojilo* vseguje dušik, fosfor in kalij hkrati.

Naravna gnojila dajejo zemlji tudi sestavine, ki so pomembne za tvorbo humosa, tako da izboljšemo tudi fizikalne lastnosti zemlje.

KROŽENJE DUŠIKA

KROG DUŠIKA VTLEH



UPORABA TEKOČEGA DUŠIKA

Hladno mletje

Problem: fino mletje termoplastičnih mas v prašek, pod 0,3 mm, fino mletje plastičnih mas pod 10 mm, predelave odpadkov, ki nastanejo pri stiskanju

Rešitev: Cryogen - postopek hladnega mletja, fino mletje

Uporabniki : proizvajalci taljivih lepil za plastenje tekstila, praška za vrtinčasti, sinterni in elektrostaticni postopek plastenja, predelovalci gume, industrija gumenih oblikovancev

Plin: tekoči dušik

Prednost: pri mnogih elastomerih in plastičnih masah edina možnost; preprečitev eksplozije prahu. Bistveno večja zmogljivost mlina, bolj fino mletje, prihranek surovine.



Recikliranje

Problem: recikliranje umetnih snovi

Rešitev: Cryogen mletje in fino mletje

Uporabniki:

Plin: tekoči dušik

Prednost: racionalnejše odstranjevanje robov

Ločevanje materialov guma

Problem: odstranjevanje robov z gumiranih izdelkov in ločevanje materialov guma - kovinska vlakna, strjevanje surove gume, da se omogoči rezanje in obdelava z odvzemanjem delcev

Rešitev: zamrzovanje v tekočem dušiku in odstranitev krhkih robov v posebnem stroju, ohladitev na -30°C do -60°C .

Uporabniki : industrija gumiranih izdelkov, proizvajalci visokotlačnih gibkih cevi, gumenih oblikovancev, gumiranih valjev in podobnih izdelkov.

Plin: tekoči dušik

Prednost: racionalnejše odstranjevanje robov, ožje tolerance pri stiskanju, točnejša masa izdelka, hitrejša in bolj natančna uporaba, okolju prijazen postopek

Hlajenje umetnih smol

Problem: pri ekstruziji je potrebno zaustaviti potek polimerizacije

Rešitev: ustavljanje reakcije s hlajenjem v tekočem dušiku

Uporabniki proizvajalci umetnih mas

:

Plin: tekoči dušik

Prednost: boljša kakovost

Stiskanje z ekstruderjem

Problem: notranje hlajenje v polžasti brizgalni stiskalnici izdelanih votlih teles, folij, cevi velikega premera

Rešitev: Cryogen - Extrublas - postopek

Uporabniki proizvajalci votlih predmetov: steklenic, kanistrov, sodov,

:

tehničnih votlih predmetov, cevi, specialnih folij

Plin: tekoči dušik, hladen plin

Prednost: skrajšanje časa hlajenja in s tem večja zmogljivost za 50 % in več

Odstranjevanje laka

Problem: nevšečni ostanki laka na kovinskih držalih pri lakiranju

Rešitev: zamrzovanje v tekočem dušiku in mehansko odstranjevanje krhkih ostankov

Uporabniki lakirnice

:

Plin: tekoči dušik

Prednost: okolju prijazno, ekonomično

Ločevanje (Debonding)

Problem: razstavljanje sprijetih materialov v sestavne dele (npr.: guma/kovina vezi)

Rešitev: zamrzovanje v tekočem dušiku in mehansko odstranjevanje krhkih ostankov

Uporabniki proizvajalci končnih izdelkov,

:

reparатурne delavnice

Plin: tekoči dušik

Prednost: okolju prijazno, ekonomično zaradi ponovne uporabe



Strjevanje nanosov lepil

Problem: kristalinično strjena lepila imajo majhno začetno sprijemljivost

Rešitev: hlajenje nanosov lepil v tekočem dušiku

Uporabniki proizvajalci tesnilnih profilov

:

Plin: tekoči dušik

Prednost: večja zmogljivost, manj izmeta

Izboljšanje (zaporno plastenje)

Problem: prepustnost posod iz umetnih mas za organske pare

Rešitev: fluoriranje

Uporabniki industrija umetnih mas

:

Plin: dušik/fluor mešanica

Prednost: bolj ekonomičen postopek

Rekuperacija

Problem: uhajanje par topil v atmosfero

Rešitev: rekuperacija topil s kondenziranjem, Cryosolv- postopek

Uporabniki proizvajalci folij, izdelovalci površinskih prevlek

:

Plin: tekoči dušik

Prednost: manjša poraba topil, nič emisije

Poliranje

Problem: 2-K-laki na umetnih masah

Rešitev: Cryostyl-postopek: hlajenje poliranih mest s hladnim plinom

Uporabniki avtomobilska industrija, proizvajalci čolnov

:

Plin: tekoči dušik

Prednost: manj izmeta, nižji stroški

Brizgana plastika

- Problem:** udrtine zaradi krčenja pri ohlajanju
Rešitev: Gasinnendruck-postopek
Uporabniki industrija umetnih mas
:
Plin: dušik
Prednost: točno po meri, konture, prihranek na masi

Recikliranje

- Problem:** recikliranje starih avtomobilskih gum, umetnih snovi, embalaže
Rešitev: razgrajevanje s tekočim dušikom, separiranje, mletje
Uporabniki
:
Plin: tekoči dušik
Prednost: materiali boljše kakovosti se lahko spet uporabijo, okolju prijazen postopek

Odpadki

- Problem:** predelava starih avtomobilskih pnevmatik, razkosavanje starih elektromotorjev, kabljskih odpadkov in izrabljenih baterij, sežiganje posebnih odpadkov, dimni plini, premajhna zmogljivost
Rešitev: zamrzovanje v tekočem dušiku in drobljenje krhkih delov omogočata separacijo raznih materialov, obogatitev zgorevalnega zraka s kisikom
Uporabniki proizvajalci pnevmatik, predelovalci odpadkov, proizvajalci raznih granulatov in topilnice, naprave za sežiganje posebnih odpadkov
:
Plin: kisik, tekoči dušik
Prednost: večja zmogljivost, popolno zgorevanje, optimalno ločevanje železnih od neželeznih materialov, gumeni in kordni material ter jeklene vložke je mogoče ponovno uporabiti.



Ohranjanje čistosti zraka

- Problem:** izločevanje težko vnetljivih strupenih ostankov, uničevanje škodljivih plinov, uhajanje par topil v atmosfero
- Rešitev:** uporaba zrak - kisik - gorivo gorilnikov, uporaba kisik - gorivo gorilnikov, rekuperacija topil s kondenziranjem, Cryosolv - postopek
- Uporabniki** vse vrste industrije, proizvajalci folij, izdelovalci površinskih
:
prevlek, kem. industrija
- Plin:** različne mešanice, kisik, tekoči dušik
- Prednost:** večja zmogljivost, manj dimnih plinov, popolno zgorevanje, manjša poraba topil, ni emisij

Gumirani rezervoarji

- Problem:** odstranjevanje plasti gume
- Rešitev:** hlajenje v tekočem dušiku in odstranitev krhke gume s podlage
- Uporabniki** kemijska industrija in industrija vozil
:
- Plin:** tekoči dušik
- Prednost:** prihranek na času, okolju prijazen postopek za predelavo odpadnega materiala.

Gradbena industrija

- Problem:** vdori vode, nestabilnost zemlje, betoniranje gradbenih delov z veliko prostornino, razpoke v betonu, rezanje betona, priprava podzemnih jeklenih in betonskih površin za oblaganje
- Rešitev:** utrjevanje zemlje z zamrznitvijo, hlajenje svežega betona s tekočim dušikom v mešalniku, hlajenje posameznih betonskih komponent, termični postopek z rezalnim gorilnikom in prahom ali s kisikovo sulico z jedrom, odstranjevanje rje z jeklenih površin, sežiganje nečistoč z gorilnikom, odstranjevanje blatnega sloja.
- Uporabniki** podjetja za nizke gradnje pri izgradnji tunelov, šahtov, podzemne
:
železnice in podobno, gradbena podjetja, podjetja za izgradnjo mostov in cest in gradbene sanacije, izdelovalci betonskih elementov.
- Plin:** tekoči dušik, kisik, gorilni plin (acetilen ali mapp)
- Prednost:** hitro zamrzovanje zemlje, ni vdorov vode, majhna investicija, majhna temperaturna razlika med betoniranimi deli in svežim betonom, ni nastajanja razpok, rezanje brez hrupa in tresljajev, možnosti naknadnih sprememb betonskih gradenj, okolju prijazno (brez kemikalij in materiala za peskanje), dobra sprejemljivost prevlek.

Topila

Problem: uhajanje par topil v atmosfero

Rešitev: rekuperacija topil s kondenziranjem, Cryosolv-postopek

Uporabniki proizvajalci folij, izdelovalci površinskih prevlek, kemijska
: industrija

Plin: tekoči dušik

Prednost: ni emisij

Literatura:

□