



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

214676
(11) (B2)

(51) Int. Cl.³
H 01 M 6/14

(22) Přihlášeno 23 11 79
(21) (P.V. 8097-79)

(32) (31) (33) Právo přednosti od 24 11 78
(963657) Spojené státy americké

(40) Zveřejněno 31 08 81
(45) Vydáno 15 09 84

(72) Autor vynálezu DEY ARABINDA NARAYAN, NEEDHAM, MASSACHUSETTS (Sp. st. a.)
(73) Majitel patentu P. R. MALLORY and CO. INC., INDIANAPOLIS, INDIANA (Sp. st. a.)

(54) Elektrochemický článek

1

Elektrochemické články se spotřebovatelnými tekutými depolarizátory, které slouží také jako elektrolytická rozpouštědla, s aktivními kovovými anodami a neaktivními vodivými katodami, jsou vyrobeny tak, že jsou odolné k nucenému vybíjení nebo přepólování článku zajištěním přebytných množství jak tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla s elektrolytem, tak aktivní kovové anody na konci normálního vybití článku. Část aktivního kovu, která zůstává po vybití, je elektricky spojena se zápornou svorkou článku a v podstatě leží proti celému povrchu původně přilehlé neaktivní katody. Část tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla, která zbývá po vybití, je dostatečná pro udržení elektrické a tepelné vodivosti, čímž se předejde tepelné koncentraci v článku. Normální vybíjecí kapacita článku je omezena neaktivní katodou, například z aktivovaného uhlíku.

2

Vynález se týká elektrochemických článků s vysokou energetickou hustotou, které mají aktivní kovové anody a spotřebovatelné tekuté depolarizátory sloužící také jako rozpouštědla elektrolytů, a zejména se týká těchto článků, které mají thionylchlorid SOCl_2 jako depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo a lithiové anody.

Jednou z nejžádanějších dvojic elektrochemického článku o vysoké hustotě energie, které jsou vyvinuty v současnosti, jsou ty, které mají lithium jako anodu a thionylchlorid jako katodový depolarizátor, přičemž thionylchlorid dále působí jako rozpouštědlo pro elektrolytickou sůl. Články obsahující lithium/thionylchloridovou dvojici vykazují stabilní vysoké napětí (3,6 V) za různé teploty a vybíjecích podmínek. Navíc tyto články obvykle neobsahují organické sloučeniny a jsou následkem toho neobvykle stabilní při dlouhém skladování, dokonce při rozsáhle se měnících teplotních podmínkách.

Avšak navzdory jejich početným výhodám lithium/thionylchloridové články mají základní nedostatek, který brání jejich širokému použití. Za různých podmínek neodborného zacházení jako je zkratování, nucené vybíjení a přepólování článku, články obsahující thionylchlorid mají význačnou tendenci k prudké explozi. Následkem toho bylo v současné době věnováno velké úsilí pro zajištění bezpečnosti thionylchloridových článků.

V USA patentu č. 4 115 629 je popsáno použití nízkotlakého odplynění (thionylchloridové články jsou v podstatě beztlakové), které je účinným prostředkem prevence chemických reakcí uvnitř thionylchloridových článků, které mohou vést k explozím článků. Toto nízkotlaké odplynění, jak bylo zjištěno, je účinné jen za určitých podmínek, jako je zkratování článků, a není obvykle účinné za podmínek nuceného vybíjení nebo přepólování článku.

Problém nuceného vybíjení nebo přepólování článku se obvykle vyskytuje v bateriích s více články, které obsahují jeden nebo více poškozených nebo vybitých článků ve spojení s dobrými články. V minulosti, aby se vyhnulo těmto problémům, bylo praktikováno buď použít články individuálně, nebo opatřit články uspořádané v bateriích vhodnými ochrannými diodami.

Navzdory přiznávané účinnosti těchto nouzových opatření jsou zde určité nevýhody. Použití jednotlivých článků obvykle omezuje využití těchto článků pro aplikace o nízkém napětí. Zavedení diod si vynucuje použití přídavných nákladných složek s možnou ztrátou elektrické kapacity vzhledem k prostoru zabranému těmito složkami a jejich pouzdry.

Cílem vynálezu je vytvořit prostředky pro zábranu exploze článku nebo jiných nežádoucích účinků násilného vybíjení nebo pře-

pólování v článku nebo v člancích bez využívání přídavných složek.

Dalším cílem vynálezu je vytvořit články, které jsou odolné vůči nucenému vybíjení nebo přepólování článku a které obsahují spotřebovatelné tekuté depolarizátory a elektrolytická rozpouštědla, jako je thionylchlorid, který normálně podléhá explozi za těchto podmínek.

Vynález se vztahuje na elektrochemický článek, obsahující aktivní kovovou anodu, elektricky připojenou k jeho svorce, neaktivní vodivou katodu, přičemž povrchy anody a katody jsou přivráceny k sobě navzájem, dále tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo s elektrolytickou solí v něm rozpuštěnou, a jak anoda, tak katoda jsou ponořeny do tekutého depolarizátoru. Podstata vynálezu spočívá v tom, že ke zvýšení bezpečnosti jsou aktivní kovová anoda, tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo přítomny v přebytku vybíjecí kapacity článku a kapacita neaktivní vodivé katody, uvažováno na základě počtu reakčních míst v článku, je nižší než kapacita tekutého depolarizátoru, takže vybíjecí kapacita článku je určena neaktivní katodou, a ve stavu po vybití článku obsahuje článek vyčerpanou katodu, nespotřebovanou anodu elektricky spojenou se svorkou a nespotřebovaný depolarizátor na anodě a katodě.

Elektrochemické články podle vynálezu jsou odolné vůči nucenému vybíjení nebo přepólování článku, takže u nich není nebezpečí exploze nebo jiných nežádoucích účinků násilného vybíjení nebo přepólování.

Vynález zahrnuje obecně elektrochemické články obsahující spotřebovatelný tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo, aktivní kovové anody a neaktivní vodivé katody. Každý článek je konstruován tak, že elektricky a tepelně vodivá část spotřebovatelného tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla s rozpuštěnou elektrolytickou solí a část anodového kovu elektricky připojeného k anodové svorce, zůstávají na konci vybití článku.

Zbývající anodový kov by měl také v podstatě zůstat ležet proti původně přilehlé neaktivní vodivé katodě a zbývající tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo s rozpuštěnou elektrolytickou solí by mělo vodivě smáčet podstatnou část zbývající anodové a katodové elektrody. Konstrukce takového článku s přebytkem obou aktivních elektrodových materiálů je v rozporu s postupem používaným v dosavadním stavu techniky, při kterém se obecně přijímá praxe využít jednoho z aktivních elektrodových materiálů článku jako limitujícího faktoru životnosti článku, přičemž konec vybíjení článku je určen spotřebováním tohoto materiálu.

Příčina explozí thionylchloridových článků byla předmětem současných výzkumů a přemýšlení bez pozitivního určení skutečné příčiny nebo příčin. Nicméně výše popsaná

konstrukce článku byla zjištěna jako účinná pro potlačení explozních následků nuceného vybíjení thionylchloridových článků. Vzhledem k účinnosti popsané konstrukce článku se předpokládá, že příčinou explozí je místní koncentrace tepla na kritickou teplotu v „horkých místech“ uvnitř článku.

Existuje teoretický názor, že počátečním zajištěním dostatku tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla, v takové míře, že na konci vybíjení článku zajišťuje zbývající elektrolytický roztok dostatečně rovnoměrné vedení proudu a tepla, se předejde lokalizaci tepla. Dřívější ztráta dostatečně rovnoměrné vodivosti elektrolytického roztoku vyplývá z dvojí funkce tekutiny jako depolarizátoru a jako elektrolytického rozpouštědla: tekutý depolarizátor se spotřebovává při reakci článku a tato spotřeba má za následek snížení objemu elektrolytického roztoku a v závislosti na počáteční koncentraci nasycení rozpouštědla s možným vysrážením elektrolytické soli. Snížený objem elektrolytického roztoku vede zčásti k vysušení elektrod a vysrážení elektrolytické soli vyvolává nevodivá místa mezi částmi elektrod. Vysušené části elektrod vytvářejí velký odpor vůči proudu nuceného vybíjení. Následkem toho zbývající části elektrod nesou přebytek proudu a přetěžují se, s vytvořením výše zmíněných „horkých míst“.

Podobně vysrážení elektrolytické soli mezi částmi elektrod působí převádění proudu mezi jiné části elektrod, což také vede k vytvoření „horkých míst“.

Dále v některých případech nasycení elektrolytického rozpouštědla samotného vede ke snížení vodivosti elektrolytického roztoku na úroveň, při které není dostatečná vodivost pro účinné vedení proudu a přestup tepla. Odpor elektrolytického roztoku tím vyvolává vznik tepla a výbuch článku.

Pro zabránění těmto zjevům musí být množství počátečně zajištěného tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla dostatečné, aby na konci vybití smáčel zbývající elektrolytický roztok podstatnou část elektrod, čímž se „horká místa“ nevytvorí. Dále by množství zbývajícího tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla mělo být dostatečné pro udržení vodivosti elektrolytického roztoku s účinným přenosem proudu a tepla a bez podstatného vysrážení elektrolytické soli.

Navíc k přebytku vodivého elektrolytického roztoku musí také existovat přebytečné množství anodového kovu jako je lithium, čímž po skončení vybíjení článku a za podmínek nuceného vybíjení zůstává protielektroda pro kovový povlak anodových kovových iontů jako je lithium, na neaktivní vodivé katodě. Udržením této protielektrody umožňujícím uložení anodového kovu na katodě se překvapivě nevyskytuje zahřívání článku.

Zbývající anodový materiál musí zůstat e-

lektricky v kontaktu se zápornou svorkou článku, aby tento zbývající anodový materiál mohl fungovat jako protielektroda. Navíc zbývající anodový materiál musí v podstatě ležet proti celému počátečnímu povrchu neaktivní vodivé katody. Kdyby měl být anodový materiál částečně erodován v částech, které v počátku ležely proti neaktivní vodivé katodě, tyto zpočátku protilehlé části katody by nevytvořily kovový povlak z anodových iontů. Následkem toho vyvolaný proud nuceného vybití nebude koncentrován v oblastech katody, které stále leží proti anodovému kovu, načež dostatečná proudová koncentrace v lokalizovaných oblastech také vyvolá vzrůst tepla vedoucí nevyhnutelně k explozi článku.

Abyste udrželo elektrické spojení mezi zbývajícím anodovým materiálem a pro zajištění toho, že fragmentace nebo nestejně využití anodového materiálu se nevyskytne v nějaké velké míře, může být použit velký přebytek anodového kovu, ovšem dává se přednost tomu, aby se použila menší množství anodového materiálu ve spojení s vodivým základem.

Bylo také překvapivě zjištěno, že navzdory dlouhým dobám nuceného vybíjení nebude anodový materiál, jestliže je přítomen v dostatečném přebytku, jak bylo popsáno výše, zcela spotřebován. Předpokládá se, že tento jev vyplývá z vnitřního mechanismu krátkého spojení, při němž je povlak anodového kovu na vodivé katodě ve formě dendritů, a že tohoto stavu se dosáhne během nuceného pokovení, čímž se vytvoří přímá vodivá dráha uvnitř článku mezi anodou a katodou.

Celý článek se pak stává vodivým členem, v němž nevyvolá další nucené vybíjení žádný odpor, takže se předejde vývoji tepla.

Nejvýhodnějším prostředkem, aby se zajišťilo, že jak spotřebovatelný tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo, tak anodový kov, v dostatečném přebytku dokonce po úplném vybití článku, je omezení neaktivní vodivé katody.

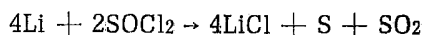
U thionylchloridu a jiných tekutinou depolarizovaných článků, katoda obvykle obsahuje aktivovaný uhlík (nebo jiný vodivý materiál o velkém povrchu jako je grafit) obvykle smíšený s pojivem jako je „teflon“, tj. polytetrafluorethylen, nanesený ve formě pasty na vodivý kovový podklad. Protože se reakce obvykle uskutečňuje na takovéto uhlíkové katodě, omezení reakčních míst dostupných na katodě omezuje vybíjecí životnost článku. Toto omezení může být snadno ovlivněno řízením buď množství uhlíku v katodě, nebo stupně aktivace uhlíku (povrchová plocha dostupná pro reakci).

Uhlíková katoda je omezena vůči normální reakci článku, není však omezena s ohledem na dendritický kovový povlak anodového kovu na ní během nuceného vybíjení. Následkem vysokého stupně porozity uhlíkové

katody zůstává vodivý kovový podklad dostupný pro takovéto dendritické pokovení.

Reaktivní schopnost uhlíkové elektrody je založena na hmotnosti uhlíku v ní obsaženého a na zdánlivém měrném povrchu uhlíku. Tato kapacita může být empiricky určena pro různá složení a koncentrace elektrolytických roztoků při uvážení reakčních zplodin a jejich množství, která se vysrážejí na elektrodě a pasivují ji.

Například v článcích obsahujících lithiové anody a thionylchloridový depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo, se předpokládá reakce článku podle následujícího schématu:



Určení množství reakčních produktů chloridu lithného LiCl a síry S [kysličník siřičitý SO_2 není tuhá látka] na uhlíkové katodě vybitého článku představuje vlastní kapacitu uhlíku v těchto článcích. Například bylo zjištěno, že pro 0,5 a 1,0 molární elektrolytické roztoky lithiumtetrachloraluminátu LiAlCl_4 v thionylchloridu, je maximální kapacita uhlíku pro 0,5 molární roztok 3,28 Ah.g⁻¹ a pro 1,0 molární roztok 2,65 Ah.g⁻¹.

Anodové kovy výhodné pro články tohoto vynálezu zahrnují alkalické kovy a kovy alkalických zemin, stejně jako i jiné kovy, které jsou nad vodíkem v elektrochemické řadě napětí. Tyto anodové kovy zahrnují zejména výše uvedené lithium, dále sodík, draslík, berillium, hořčík, vápník a hliník.

Při zjišťování množství anodového kovu, které má být zpočátku použito v článku, aby ho zůstal dostatečný přebytek na konci vybití článku, je třeba vzít v úvahu vlastní kapacitu anodového kovu nebo kovů a minimální množství tohoto kovu nebo kovů požadované pro udržení elektricky spojitosti elektrody podobných počátečních rozměrů. Po určení maximální uhlíkové kapacity by takto množství anodového kovu zpočátku použitého v článku mělo být vybráno pro převýšení kapacity katody v takovém množství, že anoda se ztenčí reakcí článku bez podstatné ztráty plochy protilehlé ke katodě a bez podstatné ztráty elektrické spojitosti skrz anodu k záporné svorce článku. Použití kovového základu pro anodu udržuje tuto elektrickou spojitost s menším množstvím anodového kovu, a je tedy výhodné.

Vhodný spotřebovatelný tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo zahrnuje výše uvedený thionylchlorid a jiné tekuté oxyhalogenidy, nekovové oxidy, nekovové halogenidy a jejich směsi, jako je oxychlorid fosforečný POCl_3 , oxychlorid seleničitý SeOCl_2 , kysličník siřičitý SO_2 , kysličník sírový SO_3 , oxychlorid vanadičný VOCl_3 , chromylchlorid CrO_2Cl_2 , sulfurylchlorid SO_2Cl_2 , nitrylchlorid NO_2Cl , nitrosylchlorid NOCl , kysličník dusičitý NO_2 , chlorid sirný S_2Cl_2 a bromid sirný S_2Br_2 .

Každá z výše uvedených sloučenin může být použita spolu s thionylchloridem SOCl_2 jako elektrolytickým rozpouštědlem a katodovým depolarizátorem, nebo odděleně.

Navíc spotřebovatelný tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo může být použito v článcích ve spojení s jinými nevodnými rozpouštědly, které také nepůsobí jako depolarizátory. Obvykle tato nevodná rozpouštědla zahrnují organická rozpouštědla, jako je propylenkarbonát, acetonitril, methylformiát, tetrahydrofuran a podobně, která se obecně používají v nevodných článcích o vysoké energetické hustotě, sestávajících z lithia a lithia a kysličníku siřičitého.

Při určování množství tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla, které má být zpočátku uloženo v článku, měla by být kapacita tohoto tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla vyvážena vůči kapacitě uhlíkové katody. Přebytek tekutiny by měl mít dostatečný objem, aby zbývající elektrolytický roztok zůstal v elektrickém dotyku s dostatečným množstvím elektrod nebo je smáčel, aby byly schopné přenášet nucený vybíjecí proud bez vývoje tepla.

Obecně množství elektrolytického roztoku, které zbývá, by mělo v podstatě smáčet celé obě elektrody. Smáčení může být v minimální míře ovlivněno působením kapilarity.

Jako určité vodítko při určování množství nutného pro úplné smáčení elektrolytickým roztokem je třeba vzít v úvahu elektrolytickou viskozitu a povrchové napětí, geometrii elektrody článku jako jsou spirální vinuté elektrody nebo deskové elektrody a rozdělení tekutiny. Porozita a délka dráhy tekutiny uvnitř elektrod by také měla být určována pro jednotlivé články při určování minimálních množství elektrolytického roztoku požadovaného pro v podstatě úplné kapilární smáčení. Je však výhodné, aby z důvodů bezpečnosti, zejména při hromadné výrobě článků, zůstal zřetelný přebytek elektrolytického roztoku na konci vybití článku. Musí být vzata v úvahu měrná vodivost elektrolytického roztoku obsahující přebytek spotřebitelného tekutého depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla a elektrolytické soli v něm.

Tato měrná vodivost by měla být schopna účinně unést nucené vyvíjecí proudové zatížení bez vybíjení tepla. Obecně by měrná vodivost neměla být menší než asi 10^{-3} S.cm⁻¹ při teplotě místnosti, aby se udržela tato účinná proudová schopnost.

Abyste bylo možné vyhnout se vysrážení elektrolytické soli s možným zvýšením vnitřním odporem článku po vybití článku a během nuceného vybíjení, je výhodné, aby koncentrace elektrolytické soli v počátečním elektrolytickém roztoku byla dostatečně nízká pro zajištění toho, že po vybití a spotřebování části tekutého depolarizátoru a

elektrolytického rozpouštědla, roztok nedosáhne nasycené koncentrace.

Elektrolytická sůl rozpouštěná v elektrolytickém rozpouštědle určuje elektrickou vodivost v článku během vybíjení a po vybíjení (během nuceného vybíjení). Elektrolytické soli použité v článcích podle tohoto vynálezu by měly obecně mít vysoké měrné vodivosti a rozpustnost v elektrolytických rozpouštědlech a měly by být přijatelné pro článkové složky. Výhodně by rozpouštěné elektrolytické soli nebo použité soli měly zajišťovat měrnou vodivost větší než 10^{-2} S. cm^{-1} při teplotě místnosti.

Příklady elektrolytických solí, které mají požadované měrné vodivosti a přijatelnost, obecně užívané v článcích obsahujících tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo, zahrnují lithiualuminiumchlorid, alkalické halogenidy a halogenidy alkalických zemin, tetrahalogenhlinitany, tetrahalogenboritany, hexafluorofosforečnany, hexafluorarzeničnany, chloristany a jiné elektrolytické soli nebo roztoky uvedené např. v popisu vynálezu k USA patentu č. 3 926 669 a 4 020 240.

Aby se usnadnilo porozumění tomuto vynálezu, je dále uveden příklad provedení, který uvádí článek lithium — thionilchlorid Li-SOCl₂ odolný vůči nucenému vybíjení, který je omezen svou uhlíkovou katodou, zatímco je zajištěn dostatečný přebytek jak thionylchloridového depolarizátoru a elektrolytického rozpouštědla s elektrolytickou solí, tak lithia jako anodového kovu. Příklad je uveden pouze pro znázornění, a nelze ho tedy brát jako omezení vynálezu.

Příklad

Válcový článek velikosti „D“ (vnější průměr 3,12 cm, výška 6,03 cm), byl sestaven navinutím uhlíkové katody (s „teflonovým“ pojívem v hmotnostní koncentraci 10 %) známé pod názvem Shawinigan Black (ochranná známka) o rozměrech 50,8 cm . 4,4 cm . 0,05 cm, a lithiové anody o rozměrech 57,15 cm . 5,08 cm . 0,05 cm, se separátory ze skleněného filtračního papíru mezi nimi, do válcového svazku.

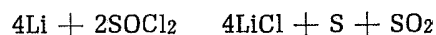
Sběrače proudu z expandovaného niklu byly použity jak pro uhlíkovou katodu, tak pro lithiovou anodu. Hmotnost lithia byla 7,3 g, hmotnost uhlíku v uhlíkové katodě by-

la 4,1 g a hmotnost 1M elektrolytického roztoku lithiualuminiumchlorid — thionilchlorid LiAlCl₄ — SOCl₂ byla 43 g. Maximální měrná kapacita uhlíku v 1M elektrolytu lithiualuminiumchlorid — thionilchlorid LiAlCl₄ — SOCl₂ byla 2,65 Ah. g⁻¹ a podle toho kapacita uhlíkové katody v článku byla 11 Ah. Stechiometrická kapacita thionylchloridu v elektrolytu byla 17 Ah vzhledem k měrné kapacitě 0,45 Ah. g⁻¹ thionilchloridu SOCl₂.

Stechiometrická kapacita lithiové anody byla asi 28 A. h vzhledem k měrné kapacitě lithia asi 3,86 A. h. g⁻¹.

Při takovémto přebytku lithiové anody a thionylchloridového depolarizátoru nad kapacitou uhlíkové katody byl článek vybíjen proudem 0,3 A a dodával kapacitu 10 A. h až do napětí 2 V. Článek byl pak nuceně vybíjen při proudu 3 A po dobu 18 hodin. Během této doby bylo napětí článku konstantní — 0,5 V. Článek neexplodoval, ani nedošlo k nějakému významnému vzrůstu teploty článku během reversačního postupu.

Na základě reakce článku



bylo spotřebováno asi 22 g thionylchloridu a asi 2,56 g lithia během vybíjení. Zbývajících 21 g elektrolytického roztoku zůstalo dostatečným množstvím k smáčení celých obou elektrod v dostatečné míře a byl to asi 2,5 molární roztok lithiualuminiumchloridu — thionilchloridu LiAlCl₄ — SOCl₂.

Nasycení thionilchloridu SOCl₂ je v přebytku 4 molárním, a proto se nevyskytla žádná sraženina elektrolytické soli. Navíc 2,5 molární roztok má měrnou vodivost asi 1. $\cdot 10^{-2}$ S. cm^{-1} při teplotě místnosti. Zbývajících 4,7 g lithia bylo v podstatě elektricky spojeno během celé doby se zápornou svorkou článku niklového základu v anodě.

Rozměry zbývajících lithia byly asi 57,15 cm . 4,44 cm . 0,033 cm, to znamená, že počáteční tloušťka anody byla snížena, ale plošné rozměry ležící proti uhlíkové katodě byly v podstatě nezměněny.

Výše uvedený příklad provedení je určen pouze pro ilustrativní účely. Je třeba vědět, že mohou být provedeny změny a odchylky, pokud jde o složky článku a jejich relativní množství, aniž se vybočí z rozsahu předloženého vynálezu.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Elektrochemický článek obsahující aktivní kovovou anodu, elektricky připojenou k jeho svorce, neaktivní vodivou katodu, přičemž povrchy anody a katody jsou přivráceny k sobě navzájem, dále tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo s elektrolytickou solí v něm rozpouštěnou, a jak anoda, tak katoda jsou ponořeny do tekutého depolarizátoru, vyznačený tím, že ke zvýšení bezpečnosti jsou aktivní kovová anoda, tekutý depolarizátor a elektrolytické rozpouštědlo přítomny v přebytku vybíjecí kapacity článku a kapacita neaktivní vodivé katody, uvažováno na základě počtu reakčních míst v článku, je nižší než kapacita tekutého depolarizátoru, takže vybíjecí kapacita článku je určena neaktivní katodou, a ve stavu po vybití obsahuje článek vyčerpanou katodu, nespotřebovanou anodu elektricky spojenou se svorkou a nespotřebovaný depolarizátor na anodě a katodě.

2. Elektrochemický článek podle bodu 1, vyznačený tím, že neaktivní vodivá katoda obsahuje aktivovaný uhlík na vodivém kovovém základě.

3. Elektrochemický článek, podle kteréhokoli z předcházejících bodů 1 a 2, vyznačený tím, že tekutý depolarizátor je buď thionylchlorid SOCl_2 , oxychlorid fosforečný POCl_3 , oxychlorid seleničitý SeOCl_2 , kysličník siřičitý SO_2 , kysličník sírový SO_3 , oxychlorid vanadičný VOCl_3 chromylchlorid CrO_2Cl_2 , sulfurylchlorid SO_2Cl_2 , nitrylchlorid NO_2Cl_2 nitrosylchlorid NOCl , kysličník dusičitý NO_2 , chlorid sirný S_2Cl_2 nebo bromid sirný S_2Br_2 .

4. Elektrochemický článek podle bodu 3, vyznačený tím, že tekutý depolarizátor obsahuje thionylchlorid.

5. Elektrochemický článek, podle kteréhokoli z bodů 1 až 4, vyznačený tím, že elektrolytickou solí je lithiualuminiumchlorid.

6. Elektrochemický článek, podle kteréhokoli z bodů 1 až 5, vyznačený tím, že aktivní kovová anoda obsahuje lithium.

7. Elektrochemický článek podle kteréhokoli z bodů 1 až 6, vyznačený tím, že aktivní kovová anoda dále obsahuje vodivý kovový základ.