

B22C 9/06 (2006.01)
B22C 1/16 (2006.01)
C04B 14/10 (2006.01)
C04B 18/14 (2006.01)
C04B 18/08 (2006.01)
C04B 28/26 (2006.01)

(19)
 ČESKÁ
 REPUBLIKA



ÚŘAD
 PRŮMYSLOVÉHO
 VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2021-456**
 (22) Přihlášeno: **30.09.2021**
 (40) Zveřejněno: **19.04.2023**
(Věstník č. 16/2023)
 (47) Uděleno: **09.03.2023**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **19.04.2023**
(Věstník č. 16/2023)

(56) Relevantní dokumenty:
 CZ 4338-90 A3; CZ 2182-93 A3; GB 960075 A; GB 575734 A; WO 0236289 A1.

(73) Majitel patentu:
 Technická univerzita v Liberci, Liberec, Liberec I-
 Staré Město, CZ
 (72) Původce:
 Ing. Katarzyna Ewa Buczkowska, Ph.D., Liberec,
 Liberec XXX-Vratislavice nad Nisou, CZ
 (74) Zástupce:
 STRNAD Patentová a známková kancelář, Ing.
 Václav Strnad, patentový zástupce, Rychtářská
 375/31, 460 14 Liberec 14, Ruprechtice

z fólie geopolymerní směs podrobuje v průběhu šesti hodin postupnému navyšování teploty až na 900 °C, poté se vypaluje při teplotě 900 °C další tři hodiny. Následně se teplota postupně snižuje až na pokojovou teplotu, čímž se výroba formy dokončí.

(54) Název vynálezu:
Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků a způsob její výroby

(57) Anotace:
 Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků je vytvořena ze směsi obsahující z hlinitokřemičité pojivo na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopecní granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s dalšími příměsemi, kterými jsou alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, šamot v množství 70 až 250 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, uhlíková mikrovlákná o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ a délkou vláken 6 mm v množství 1 až 4 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, a oxid křemičitý v množství 2 až 8 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Při výrobě formy se geopolymerní cement ve směsi s alkalickým aktivátorem pomalu míchá po dobu 5-ti minut a po uplynutí této doby se přidá šamot, uhlíková vlákna a oxid křemičitý a směs na bázi geopolymerního cementu se míchá po další dobu 5-ti minut při vysoké rychlosti, následně se takto vytvořená geopolymerní směs míchá po dobu jedné minuty při nízké rychlosti pro odvětrání směsi a nalije se do připravené formy jejíž vnitřní povrch byl pokryt separátorem spolu s uhlíkovou sítí s velikostmi ok 10 mm příčně a 15 mm podélně a obsažená směs se poté ještě odvětrá na vibrační plošině. Po zatvrdnutí geopolymerní směsi v připravené formě se tato forma zabalí do fólie a ponechá v klidu 48 hodin, následně se geopolymerní směs vyjme z připravené formy a zabalí do fólie a ponechá 28 dní při pokojové teplotě, načež se po vybalení

Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků a způsob její výroby

Oblast techniky

5

Vynález se týká trvalých, tedy opětovně použitelných forem vyrobených z geopolymerního kompozitu a určených pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků. Tyto formy vykazují zlepšení jejich tepelné odolnosti a mechanických vlastností. Předmětem vynálezu je rovněž způsob výroby formy.

10

Dosavadní stav techniky

Geopolymery, tedy materiály vznikající anorganickou polykondenzací hlinitokřemičitanů v alkalickém prostředí, jsou velmi perspektivní materiály pro nejrůznější aplikace, například ve stavebnictví. Předurčují je k tomu výborné mechanické vlastnosti (blízké přírodním kamenům), odolnost vůči teplu, UV záření i dalším vlivům prostředí, energetická nenáročnost výroby a jednoduchá dostupnost surovin k jejich výrobě (hlinitokřemičitany jsou nejběžnější látky v zemské kůře). Též se dají velmi jednoduše tvarovat, neboť se připravují ve formách či pomocí 3D tisku. Jejich nevýhodou je však v současné době cena, neboť jsou dražší než komerčně používané stavební materiály, např. beton.

Reakce, při které vznikají geopolymery, je nazývána geopolymerace neboli vytvrzování. Dochází k ní, pokud je hlinitokřemičitý materiál, nejčastěji metakaolin či bezuhlíkový odletový popílek v roztoku s pH vyšším než 12. Jako aktivátor se obvykle používají hydroxidy a oxidy alkalických kovů. Přestože je celý proces podobný výrobě plastů, mají geopolymery vlastnosti bližší keramickým materiálům.

Odolnost vůči teplu představuje jednu z hlavních výhod geopolymerů oproti běžně používanému betonu. Zatímco beton při zahřátí na teplotu nad 300 °C rychle degraduje díky tepelnému rozkladu, při kterém navíc dochází k uvolňování toxických látek. Geopolymery jsou stabilní až do bodu roztavení, který se pohybuje okolo teploty 1265 °C.

Odlévání neboli lití je způsob výroby předmětů, součástek apod. z tavitelných materiálů, například skla, kovů či plastů, při kterém tavenina vyplňuje dutý prostor formy, která je následně odstraněna. Odlévání se často používá pro výrobu předmětů složitých tvarů, které nelze vyrobit pomocí jiných metod, například obráběním či svařováním. Jeho nevýhodou jsou vysoké náklady na modely.

Při odlévání lze využívat tzv. „ztracené formy“, které lze použít jen jednou a pro získání výrobku musí být následně zničeny. Příkladem může být například „metoda ztraceného vosku“, kdy se z vosku vyrobí model odlévaného předmětu, který je následně obalen cementem či jiným materiálem a vosk je roztaven, aby bylo možné předmět odlít. Následně je forma rozbita, aby byl odlitý výrobek získán. Druhou možností jsou tzv. poloztracené formy, kde je vzor pro odlévání, tzv. pozitiv, možné použít vícekrát. Za tímto účelem se obvykle využívá písek, ve kterém je pomocí pozitivu obtisknut požadovaný tvar a následně může proběhnout lití. Třetí možností je použití tzv. trvalých forem, které lze využívat opakovaně. Obvykle používanými materiály jsou různé kovy, například ocel, hliník či olovo. Další možností je použití grafitu či keramiky, které mají velmi vysoký bod tání.

50

Podstata vynálezu

Předmětem vynálezu jsou trvalé formy na odlévání kovových výrobků vyrobené z geopolymerního kompozitu, který krom geopolymerního základu obsahuje ještě příměs uhlíkových vláken, oxidu křemičitého a šamotu. Řešení podle vynálezu spočívá ve využití geopolymerní směsi pro výrobu

55

forem pro odlévání kovových výrobků, a tedy využití tepelné odolnosti geopolymerních směsí a v tom, že používaný geopolymerní materiál obsahuje výše uvedené příměsi, které zajišťují lepší mechanické vlastnosti, a především vyšší tepelnou odolnost, která umožňuje geopolymerní směsi lépe odolávat teplotám roztaveného kovu.

5

Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků byla vytvořena ze směsi na bázi geopolymerního cementu, složeného z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopepční granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s dalšími příměsemi kterými jsou alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, šamot v množství 70 až 250 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, uhlíková mikrovlákná o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ a délkou vláken 6 mm v množství 1 až 4 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a oxid křemičitý v množství 2 až 8 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

15

Způsob výroby formy pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků zahrnuje pomalé míchání geopolymerního cementu ve směsi s alkalickým aktivátorem po dobu 5-ti minut a po uplynutí této doby byly přidány šamot, uhlíková vlákna a oxid křemičitý a směs byla míchána po další dobu 5-ti minut při vysoké rychlosti. Následně takto vytvořená geopolymerní směs byla míchána po dobu jedné minuty při nízké rychlosti za účelem odvodu smění a potom nalita do připravené formy jejíž vnitřní povrch byl pokryt separátorem spolu s uhlíkovou sítí s velikostmi ok 10 mm příčně a 15 mm podélně a obsažená směs na bázi geopolymerního cementu byla poté ještě odvětrána na vibrační plošině.

20

Po zatvrdnutí geopolymerní směsi v připravené formě byla tato forma zabalena do fólie a ponechána v klidu 48 hodin, následně byla geopolymerní směs vyňata z připravené formy a zabalena rovněž do fólie a ponechána 28 dní při pokojové teplotě. Po vybalení geopolymerní směsi z fólie byla podrobena v průběhu šesti hodin postupnému navyšování teploty až na 900 °C a poté vypalována při teplotě 900 °C další tři hodiny a následně byla teplota postupně snížena až na pokojovou teplotu. Tímto snížením teploty byl proces výroby geopolymerní formy dokončen a geopolymerní forma mohla začít sloužit svému účelu.

25

30

Tyto formy se však nedoporučuje používat pro odlévání výrobků z vysoce reaktivních kovů a jejich slitin, především alkalických kovů a kovů alkalických zemin (například slitiny hořčíku). Porozita geopolymerního ztěžuje využití ochranné atmosféry, neboť zachytává vzduch, který by se při procesu mohl uvolňovat a vyvolávat chemické reakce s reaktivními kovy.

35

Příklady uskutečnění vynálezu

40

Následující příklady provedení vynálezu slouží k jeho objasnění, aniž by jimi byl vynález, jakkoliv omezen.

Příklad 1

45

Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků byla vytvořena ze směsi na bázi geopolymerního cementu, složeného z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu, v množství 1000 g. Další příměsí je 900 g alkalického aktivátoru tvořeného vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného, což činí 90 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Dále je přidán šamot v množství 100 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, uhlíková mikrovlákná o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ a délkou vláken 6 mm v množství 2,5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, a nakonec oxid křemičitý v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

50

Geopolymerní cement a aktivátor v poměru 1:0,9 byly pomalu míchány po dobu 5 minut. Po

55

uplynutí této doby byl přidán šamot, uhlíková vlákna a oxid křemičitý v uvedeném množství a směs byla míchána po dobu 5 minut při vysoké rychlosti. Pro odvodušnění byla následně geopolymerní směs míchána po dobu 1 minuty při nízké rychlosti. Následně byla geopolymerní směs nalita do připravené separátorem pokryté formy spolu s uhlíkovou sítí o velikosti ok 10 mm příčně a 15 mm podélně. Nalita geopolymerní směs do formy byla poté ještě odvětrána na vibrační plošině.

Po zatvrdnutí geopolymerní směsi v připravené formě byla tato forma zabalena společně s obsahem směsi na bázi geopolymerního cementu do fólie a ponechána v klidu 48 hodin. Následně byla geopolymerní směs vyňata z připravené formy a znovu zabalena do fólie a ponechána 28 dní při pokojové teplotě, načež po vybalení geopolymerní směsi z fólie byla podrobena v průběhu šesti hodin postupnému navyšování teploty až na 900 °C a poté vypalována při teplotě 900 °C další tři hodiny. Následně byla teplota postupně snížena až na pokojovou teplotu.

Výše uvedeným postupem byla připravena geopolymerní forma, představovaná vyjmutým odlitým geopolimerem, která byla následně použita jako geopolymerní forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků. Získaná geopolymerní forma byla rovněž použita pro testování struktury a hodnocení vlastností geopolymerního materiálu jako trvalé formy pro kovy.

Měřením byly u tohoto vzorku zjištěny následující fyzikální vlastnosti: ohybová pevnost 9 MPa, tlaková pevnost 60 MPa, impaktní pevnost 15 kJ/m², tepelná vodivost 0,54 W/mK, hustota 1809 kg/m³.

Příklad 2

Výše uvedeným postupem byla připravena trvalá geopolymerní forma, která byla následně použita pro odlití zkušební výrobku z litiny.

Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků byla vytvořena ze směsi na bázi geopolymerního cementu, složeného z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a mleté vysokopecní granulované strusky v množství 1 000 g, které představuje stoprocentní použité množství geopolymerního cementu. Další příměsí je 900 g alkalického aktivátoru tvořeného vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného, což činí 90 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Dále je přidán šamot v množství 100 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, uhlíková mikroválka o průměru 6 ± 1 μm a délkou vláken 6 mm v množství 2,5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, a nakonec oxid křemičitý v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

Další postup přípravy geopolymerní směsi a výroba geopolymerní trvalé formy je shodná s příkladem 1.

Příklad 3

Výše uvedeným postupem byla připravena forma, která byla následně použita pro výrobu zkušební výrobku ze siluminu (slitina hliníku).

Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků byla vytvořena ze směsi na bázi geopolymerního cementu, složeného z mleté vysokopecní granulované strusky a odletového popílku v množství 1000 g, které představuje stoprocentní použité množství geopolymerního cementu. Další příměsí je 900 g alkalického aktivátoru tvořeného vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného, což činí 90 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Dále je přidán šamot v množství 200 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, uhlíková mikroválka o průměru 6 ± 1 μm a délkou vláken 6 mm v množství 3,5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, a nakonec oxid křemičitý v množství 7 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

Další postup přípravy geopolymerní směsi a výroba geopolymerní trvalé formy je shodná s příkladem 1.

Příklad 4

5

Výše uvedeným postupem byla připravena forma, která byla následně použita pro výrobu zkušebního výrobku ze slitiny mědi.

10 Forma pro odlévání kovových prvků a kovových výrobků byla vytvořena ze směsi na bázi geopolymerního cementu, složeného z mleté vysokopecní granulované strusky a odletového popílku v množství 1000 g, které představuje stoprocentní použité množství geopolymerního cementu. Další příměsí je 900 g alkalického aktivátoru tvořeného vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného, což činí 90 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Dále je přidán šamot v množství 200 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, uhlíková
15 mikrovlákná o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ a délkou vláken 6 mm v množství 3,5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, a nakonec oxid křemičitý v množství 7 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

20 Další postup přípravy geopolymerní směsi a výroba geopolymerní trvalé formy je shodná s příkladem 1.

Průmyslová využitelnost

25 Řešení podle vynálezu je možno využít pro výrobu trvalých geopolymerních forem použitelných pro odlévání kovů. Použité příměsí zlepšují fyzikální vlastnosti geopolymerních forem a umožňují snášet vyšší teploty při odlévání kovů, včetně těch s vysokou teplotou tání, například litiny.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Forma pro odlévání kovových prvků a výrobků, vytvořená ze směsi na bázi geopolymerního cementu, **vyznačující se tím**, že uvedená směs obsahuje geopolymerní cement složený z
5 hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopeční granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s dalšími příměsemi, kterými jsou alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, šamot v množství 70 až 250
10 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, uhlíková mikrovlákna o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ a délkou vláken 6 mm v množství 1 až 4 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, a oxid křemičitý v množství 2 až 8 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

2. Způsob výroby formy pro odlévání kovových prvků a výrobků podle nároku 1, **vyznačený tím**, že geopolymerní cement ve směsi s alkalickým aktivátorem se pomalu míchá po dobu 5-ti minut a po uplynutí této doby se přidá šamot, uhlíková vlákna a oxid křemičitý a tato směs se míchá po další
15 dobu 5-ti minut při vysoké rychlosti, následně se takto vytvořená směs míchá po dobu jedné minuty při nízké rychlosti pro odvětrání směsi a nalije se do připravené formy, jejíž vnitřní povrch se pokryje separátorem spolu s uhlíkovou sítí s velikostmi ok 10 mm příčně a 15 mm podélně, a nalitá směs se poté ještě odvětrá na vibrační plošině, po zatvrdnutí směsi v připravené formě se tato forma
20 zabalí do fólie a ponechá v klidu 48 hodin, následně se geopolymerní směs vyjme z připravené formy a zabalí do fólie a ponechá 28 dní při pokojové teplotě, načež se po vybalení z fólie tato geopolymerní směs podrobuje v průběhu šesti hodin postupnému navyšování teploty až na 900 °C, poté se vypaluje při teplotě 900 °C další tři hodiny a následně se teplota postupně sníží až na pokojovou teplotu.