

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

143 753

Patent dodatkowy
do patentu nr —

Zgłoszono: 85 02 22 (P. 253281)

Pierwszeństwo —

Zgłoszenie ogłoszono: 87 01 26

Opis patentowy opublikowano: 89 07 31



Int. Cl.⁴ C23C 2/06

Twórcy wynalazku: Stanisław Socha, Władysław Jagiełło, Jan Wesołowski

Uprawniony z patentu: Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice (Polska)

SPOSÓB WYTWARZANIA POWŁOK OCHRONNYCH ZE STOPU CYNKOWEGO NA ELEMENTACH KONSTRUKCJI STALOWYCH

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania powłok ochronnych ze stopu cynkowego na elementach konstrukcji stalowych, metodą zanurzeniową.

Znany i stosowany sposób cynkowania elementów konstrukcji stalowych polega na tym, że elementy stalowe odtłuszcza się w wodnym roztworze zawierającym 2-5% wodorotlenku sodu, 3-5% metakrzemianu sodu, 4-6% kwaśnego fosforanu sodu oraz 1-2% boraksu, 2-3% chlorku sodu oraz 20-30% węglanu sodu. Odtłuszczenie prowadzi się w temperaturze 45-60°C w czasie 15-25 minut. Po odtłuszczeniu wyroby płucze się w wodzie o temperaturze 40-60°C przez 5-10 minut, a następnie po ostudzeniu wyrobów trawi się je w kąpieli o temperaturze 20°C zawierającej wagowo: 10-20% kwasu solnego, 2-10% chlorku żelaza i wodę jako resztę, przez 25-60 minut bądź też w kąpieli, która zawiera wagowo: 26-30% kwasu siarkowego, 12-18% chlorku sodu, 0,5-1,6% kwasu solnego i wodę do 100%, przy czym trawienie w tej kąpieli prowadzi się w temperaturze 60-80°C w czasie od 25 do 40 minut.

Wytrawione elementy po wypłukaniu w wodzie, wprowadza się na 2-10 minut do wodnego roztworu topnika o składzie podanym wagowo: 77,45-80% chlorku cynku, 13-22% chlorku amonu, 0,5-1% gliceryny. Do roztworu topnika można dodać również octanu sodowego w ilości 0,05-6% wagowych w stosunku do masy topnika. Wyroby wyjęte z kąpieli topnikowej suszy się w temperaturze 110-130°C, aż zawartość wody w wysuszonej warstewce topnika wyniesie 1-2%.

Tak przygotowane elementy stalowe zanurza się na 2-8 minut w kąpieli stopowej zawierającej wagowo: 0,1-0,3% aluminium, 0,8-1,1% ołowiu, 0,01-0,03 kadmu, 0,01-0,2% żelaza i cynk jako resztę, przy czym kąpiel stopowa ma temperaturę 450-460°C. Po wyjęciu z kąpieli wyroby suszy się w powietrzu.

Inny sposób wytwarzania powłok ochronnych ze stopu cynkowego przedstawiony jest w opisie patentowym nr 127 794, z tym, że sposób ten jest przeznaczony do cynkowania rur stalowych.

Zgodnie z tym sposobem rury stalowe przeznaczone do powlekania stopem cynkowym trawi się w kąpieli kwasowej o temperaturze 60-70°C, zawierającej wagowo: kwas siarkowy w ilości 15-18%, chlorek sodu w ilości 2-5%, azotan sodu w ilości 0,05-0,2%, żelazo w ilości 1-6%. Czas trawienia rur w tej kąpieli wynosi 15-35 minut. Korzystnie jest operację trawienia prowadzić przez kilkakrotne zanurzenie rur w kąpieli trawiącej.

Po wytrawieniu w kąpieli kwasowej rury płucze się najpierw w zimnej wodzie celem usunięcia nadmiaru kwasu, a następnie w wodzie gorącej w celu usunięcia możliwie największej ilości soli żelaza. Wypłukane rury zanurza się w wodnym roztworze zawierającym 25% wagowych rozpuszczonego topnika o składzie podanym wagowo: chlorek cynku 78-85%, chlorek amonu 12-15%, kwas solny 2-5%, gliceryna 1-2% oraz glikol 0,5-1%. Trawienie rur w roztworze topnikowym prowadzi się przez 5-10 minut, w temperaturze 35-40°C. W uzasadnionych przypadkach czas trawienia wydłuża się o dalsze 15 minut podnosząc jednocześnie temperaturę kąpieli topnikowej do 50°C. Wytrawione rury suszy się w temperaturze 110-120°C tak długo, aż zawartość wody w wysuszonym na ich powierzchni topniku osiągnie wartość 5-10% wagowych. Tak przygotowane rury zanurza się w kąpieli metalowej o składzie wagowym: 0,12-0,28% magnezu, 0,2-0,5% ołowiu, 0,002-0,05% kadmu, resztę stanowi cynk. Temperaturę kąpieli metalowej utrzymuje się w zakresie 450-460°C, a czas zanurzania rur w tej kąpieli wynosi 2-5 minut. Rury te wyjęte z kąpieli metalowej, po usunięciu z ich powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej nadmiaru ciekłego stopu, studzi się w wodzie i powietrzu.

Niedogodnością znanych sposobów zastosowanych do cynkowania elementów konstrukcji stalowych o dużej pojemności cieplnej jest nieodpowiednia jakość uzyskiwanych powłok, które nie zabezpieczają skutecznie tych elementów przed korozją.

Powłoki te są nieszczelne, mają zróżnicowaną grubość na stosunkowo małych powierzchniach, a przy tym wykazują wady mikrostruktury, jak również wady powierzchniowe w postaci szarych plam (Al_2O_3), gdzie jednocześnie grubość powłoki jest znacznie zmniejszona.

Przyczyny tych wad tkwią między innymi w niedostatecznym wytrawieniu powierzchni stalowych (na powierzchni elementów pozostają miejsca z głęboko zawalcowaną zgorzeliną lub innymi zanieczyszczeniami) jak również w znacznie zróżnicowanym stopniu zwilżalności powierzchni stali przez ciekły stop, obniżonej lejułości kąpieli stopowej zanieczyszczonej domieszkami tlenkowymi, a także w niewłaściwej obróbce cieplnej powłok stygnących w powietrzu, prowadzącej do nadmiernego ich wypalenia i utlenienia oraz do zmiany mikrostruktury.

Istota wynalazku polega na tym, że elementy konstrukcji stalowych odtłuszcza się w wodnym roztworze zawierającym wagowo: 2-5% krzemianu sodowego, 3-10% fosforanu sodowego, 10-15% wodorotlenku sodowego, 1-2% mydła szarego potasowego lub sodowego, pochodzącego ze zmydlenia olejów roślinnych, 0,1-5% boraksu, 5-10% węglanu sodu, 0,03-0,1% mieszaniny soli sodowo-potasowych kwasów alkilosulfonowych tj. mersaponu i wodę do 100%.

Do roztworu tego o temperaturze 85-95°C zanurza się wyroby stalowe na okres 20-45 minut, poruszając nimi co 5 minut, tak żeby doprowadzić do powierzchni wyrobów świeży roztwór.

Odtłuszczone wyroby płucze się w gorącej przepływającej wodzie o temperaturze 40-60°C przez 5-10 minut. Wypłukane wyroby w przypadku gdy są one pokryte na powierzchni cienką warstwą zgorzelinową łącznie z warstwą rdzy częściowo uwodnioną, trawi się przez 15-45 minut w kąpieli kwasowej o temperaturze 20-25°C zawierającej

wagowo: 16-20% kwasu solnego, 1-8% chlorku żelaza i wodę do 100%, a w przypadku gdy elementy stalowe posiadają w warstwie przypowierzchniowej głęboko zawałcowaną zgorzeliną żarzeniowo-walcowniczą, trawi je w kąpeli kwasowej zawierającej wagowo: 18-20% kwasu solnego, 0,5-1% azotanu sodu, 0,5-1% kwasu borowego, 0,5-5% kwasu siarkowego i 0,5-3% kwasu fosforowego, przy czym kwas siarkowy łącznie z kwasem fosforowym mogą być zastąpione przez kwasy: mlekowy, szczawiowy względnie cytrynowy w ilości 1-5%.

Po zakończonym trawieniu w kąpielach kwasowych elementów stalowych (w wymienionych obu przypadkach zanieczyszczenia powierzchni), płucze się elementy stalowe w wodzie o temperaturze 20-25°C przez 5-10 minut i zanurza w roztworze topnika o składzie podanym wagowo: chlorek amonowy od 12 do 13%, chlorek cynku od 24 do 22%, chlorek sodu od 1,5 do 1,8%, chlorek potasu od 1,5 do 1,8%, chlorek magnezu lub karnalit od 0,8 do 1,0%, gliceryna od 0,2 do 0,4% i woda jako reszta do 100%. Temperaturę kąpeli topnikowej utrzymuje się od 40 do 60°C, przy czasie zanurzenia wyrobów od 5 do 15 minut. Wyroby stalowe wyjęte z kąpeli topnikowej suszy się w temperaturze 130-150°C aż zawartość wody w wysuszonym topniku osiągnie wartość od 3 do 10%.

Pokryte warstwą wysuszonego topnika wyroby stalowe, zanurza się w kąpeli ze stopu o składzie podanym wagowo: 0,45-0,75% Pb, 0,002-0,26% Sn, 0,001-0,35% Sb, 0,08-0,25% Cd, 0,14-0,16% Al, 0,0012-0,15% Cu, 0,005-0,08% Fe, 0,0001-0,015% As, 0,0001-0,03% Cr, 0,001-0,02% Mn, 0-0,03% Mg, resztę stanowi Zn, przy czym przed zanurzeniem wyrobów, kąpiel stopową poddaje się rafinacji przy użyciu rafinatora o składzie wagowo: polimetakrylan metylu 8-15%, chlorek potasu 6-8%, chlorek sodu 7-9%, chlorek amonu 75-67%, karnalit lub siarczan magnezowo-potasowy 1-4%.

Rafinację przeprowadza się przez zanurzenie dzwonu z rafinatorem do ciekłego stopu i porusza nim odpowiednio tak, ażeby gazy rozkładającego się rafinatora przedmuchwały całą masę ciekłego stopu. Rafinację kąpeli stopowej prowadzi się w temperaturze 450-460°C. Następnie po skończonej rafinacji i usunięciu zgarów z lustra kąpeli zanurza się w niej wyroby stalowe w temperaturze 450-460°C na okres 4-8 minut. Po wyjęciu ocynkowane wyroby stalowe poddaje się procesowi przedłużonej obróbki cieplnej przez ostyganie wyrobów w powietrzu do określonej temperatury, a następnie obróbkę cieplną przerywa się przez zanurzenie wyrobów do wody.

W przypadku gdy wyroby posiadają stosunek ich powierzchni do masy wynoszący 30 m² powierzchni do 1 Mg masy, ostyganie w powietrzu przerywa się przy temperaturach 400-405°C zanurzając wyroby do wody. Przy stosunku powierzchni 44 m² do 1 Mg masy, studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach 350-330°C, podobnie jak poprzednio. Przy stosunku powierzchni 65 m² do 1 Mg masy, studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach 325-310°C. Przy stosunku powierzchni 75 m² do 1 Mg masy, studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach 300-280°C. Przy stosunku powierzchni 100 m² do 1 Mg masy, studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach 275-260°C. Przy stosunku powierzchni 125 m² do 1 Mg masy, studzenie w powietrzu przerywa się w temperaturach 250-230°C. Przy stosunku powierzchni 150 m² do 1 Mg masy, studzenie w powietrzu przerywa się w temperaturach 220-200°C. Przy stosunku powierzchni powyżej 150 m² do 1 Mg masy studzenie prowadzi się wyłącznie w powietrzu.

Zaletą nowego sposobu jest możliwość uzyskania powłok posiadających równomierną grubość. Ich warstwa stopowa posiada zwartą mikrostrukturę, jest szczelna, a ponadto w jak najmniejszym stopniu występuje w niej rozczłonkowanie warstwy fazy zeta. Powłoki posiadają przyczepność dyfuzyjną na całej powierzchni wyrobów stalowych, a więc nie występują w nich wady w postaci przyczepności adhezyjnej. Powłoki posiadają plastyczność wymaganą przy elementach konstrukcji stalowych. Powierzchnie powłok są gładkie i bez wad powierzchniowych w postaci miejscowych niepokryć. Powłoki posiadają

żądaną grubość odpowiadającą odpowiednim czasom zanurzenia w kąpeli stopowej. Przedmiot wynalazku jest bliżej wyjaśniony na poniższych przykładach.

P r z y k ł a d I. Elementy konstrukcji stalowych posiadające stosunek powierzchni 30 m^2 do 1 Mg masy odtłuszcza się w wodnym roztworze zawierającym wagowo: 2% krzemianu sodowego, 3% fosforanu sodowego, 10% wodorotlenku sodowego, 1% mydła szarego potasowego lub sodowego pochodzącego ze zmydlenia olejów roślinnych, 0,1% boraksu, 5% węglanu sodu, 0,03% mersapomu i wody do 100%.

Do roztworu tego o temperaturze $85-95^{\circ}\text{C}$ zanurza się wyroby stalowe na okres 20 minut, poruszając nimi co 5 minut. Odtłuszczone wyroby płucze się w przepływającej wodzie o temperaturze 40°C przez 5 minut. Wypłukane wyroby będące na powierzchni pokryte cienką warstwą zgorzeliny łącznie z warstwą rdzy częściowo uwodnioną, trawi się przez 15 minut w kąpeli kwasowej, o temperaturze 20°C , zawierającej wagowo: 16% kwasu solnego, 1% chlorku żelaza i wodę do 100%. Po zakończonym trawieniu wyroby stalowe płucze się w wodzie o temperaturze 20°C przez 5 minut i zanurza w roztworze topnika o składzie wagowo: chlorek amonowy 12%, chlorek cynku 24%, chlorek potasu 1,5%, chlorek sodu 1,5%, chlorek magnezu 0,8%, gliceryna 0,2% i woda jako reszta do 100%. Temperaturę kąpeli topnikowej otrzymuje się przy 40°C . Czas zanurzenia wynosi 5 minut.

Wyroby wyjęte z kąpeli topnikowej suszy się w temperaturze 130°C aż zawartość wody w wysuszonym topniku osiągnie wartość 3%. Pokryte warstwą wysuszonego topnika wyroby stalowe zanurza się na 4 minuty do kąpeli stopowej o temperaturze 450°C i o składzie wagowo: 45% Pb, 0,004% Sn, 0,001% Sb, 0,8% Cd, 0,14% Al, 0,0012% Cu, 0,01% Fe, 0,004% As, 0,001 Cr, 0,001% Mn i resztę do 100% stanowi Zn.

Kąpiel stopową przed cynkowaniem wyrobów poddaje się uprzednio rafinacji przy użyciu rafinatora o składzie wagowo: 8% polimetakrylan metylu, 6% chlorek potasu, 7% chlorek sodu, 75% chlorek amonu, 1% karnalit. Rafinację przeprowadza się przez zanurzenie dzwonu wypełnionego rafinatorem do ciekłego stopu i porusza nim tak, ażeby gazy pochodzące z rozkładającego się rafinatora przedmuchały całą masę ciekłego stopu. Rafinację prowadzi się w 450°C przez 5 minut, i po jej zakończeniu oczyszcza się lustro kąpeli stopowej ze zgarów i zanurza się do niej wyroby stalowe na okres 4 minut przy temperaturze 450°C . Po wyjęciu z kąpeli ocynkowane wyroby, ponieważ posiadają stosunek powierzchni 30 m^2 na 1 Mg masy, studzi się w powietrzu z temperatury 415°C do temperatury 350°C a następnie zanurza się do wody i po ostudzeniu wyjmuje i suszy w powietrzu.

P r z y k ł a d II. Elementy konstrukcji stalowych posiadające stosunek powierzchni 100 m^2 do 1 Mg masy odtłuszcza się w wodnym roztworze zawierającym wagowo: 5% krzemianu sodu, 10% fosforanu sodu, 15% wodorotlenku sodu, 2% mydła szarego potasowego lub sodowego, pochodzącego ze zmydlenia olejów roślinnych, 5% boraksu, 10% węglanu sodu, 0,1% mersapomu i wodę do 100%.

Do roztworu tego o temperaturze 95°C zanurza się wyroby stalowe na okres 45 minut poruszając nimi co 5 minut. Odtłuszczone wyroby płucze się w wodzie o temperaturze 60°C przez 10 minut. Wypłukane wyroby posiadające w warstwie przypowierzchniowej głęboko zawalcowaną zgorzelinę żarzeniowo-walcowniczą trawi się w kąpeli kwasowej zawierającej wagowo: 18% kwasu solnego, 0,5% azotanu sodu, 0,5% kwasu borowego, 0,5% kwasu siarkowego i 0,5% kwasu fosforowego i wodę jako resztę do 100%.

Po zakończonym trawieniu w kąpeli kwasowej i wypłukaniu w wodzie o temperaturze 25°C przez 10 minut wyroby stalowe zanurza się w roztworze topnika o składzie wagowo: 13% chlorek amonowy, 22% chlorek cynku, 1,8% chlorek sodu, 1,8% chlorek potasu, 1% chlorek magnezu, 0,4% gliceryna i woda jako reszta do 100%. Temperaturę kąpeli topnikowej utrzymuje się w 60°C przy czasie zanurzenia wyrobów 15 minut. Wyroby wyjęte z kąpeli topnikowej suszy się w temperaturze 150°C aż zawartość wody w wysuszonym topniku osiągnie wartość 10%.

Pokryte warstwą wysuszonego topnika wyroby stalowe zanurza się na 8 minut do kąpieli o temperaturze 460°C i o składzie podanym wagowo: 0,75% Pb, 0,26% Sn, 0,35% Sb, 0,25% Cd, 0,16% Al, 0,15% Cu, 0,08% Fe, 0,015% As, 0,002% Cr, 0,003% Mn i 0,02% Mg, resztę do 100% stanowi cynk.

Kąpiel stopową przed cynkowaniem wyrobów poddaje się rafinacji przy użyciu rafinatora o składzie wagowo: 15% polimetakrylan metylu, 8% chlorek potasu, 9% chlorek sodu, 67% chlorek amonu, 1% karnalit.

Rafinację przeprowadza się przez zanurzenie dzwonu wypełnionego rafinatorem i porusza nim tak, ażeby gazy pochodzące z rozkładającego się rafinatora przedmuchały całą masę ciekłego stopu. Rafinację prowadzi się w 460°C w czasie 10 minut.

Po zakończonej rafinacji i zebraniu zgarów z lustra kąpieli stopowej zanurza się do niej wyroby stalowe na czas 8 minut przy temperaturze 460°C . Po wyjęciu z kąpieli wyroby, ponieważ posiadają stosunek powierzchni 100 m^2 do 1 Mg masy, studzi się w powietrzu z temperatury 415°C do temperatury 260°C , a następnie zanurza się je do wody i po ostudzeniu wyjmuje i suszy w powietrzu.

Z a s t r z e ż e n i e p a t e n t o w e

Sposób wytwarzania powłok ochronnych ze stopu cynkowego na elementach konstrukcji stalowych, obejmujący odtłuszczanie w wodnym roztworze alkalicznym zawierającym wodorotlenek sodu, fosforan sodu, węglan sodu, boraks, płukanie w wodzie o temperaturze $40-60^{\circ}\text{C}$ przez 5-10 minut, wytrawianie w roztworze wodnym zawierającym kwas solny, dotrawianie w wodnym roztworze topnika, w skład którego wchodzi chlorek cynku, chlorek amonu i gliceryna, a po wysuszeniu warstwy topnika na powierzchni elementów stalowych zanurza się je w kąpieli o temperaturze $450-460^{\circ}\text{C}$ zawierającej oprócz cynku aluminium, ołów, kadm, żelazo i studzeniu ocynkowanych elementów, z n a m i e n n y t y m, że przed trawieniem elementy stalowe odtłuszcza się w roztworze zawierającym wagowo: 2-5% krzemianu sodowego, 3-10% fosforanu sodowego, 10-15% wodorotlenku sodowego, 1-2% mydła szarego potasowego lub sodowego, pochodzącego ze zmydlenia olejów roślinnych, 0,1-5% boraksu, 5-10% węglanu sodu, 0,03-0,1% mieszaniny soli sodowo-potasowych kwasów alkilosulfonowych i wodę do 100%, do którego wprowadza się te elementy odtłuszczając je w temperaturze $85-95^{\circ}\text{C}$ przez 20-45 minut, po czym płucze się przez 5-10 minut w wodzie, a po wypłukaniu tak odtłuszczonych elementów stalowych, w przypadku gdy są one na powierzchni pokryte cienką warstwą zgorzelinową łącznie z warstwą rdzy częściowo uwodnionej wytrawia się je przez 15-45 minut w kąpieli kwasowej o temperaturze $20-25^{\circ}\text{C}$ i zawierającej wagowo: 16-20% kwasu solnego, 1-8% chlorku żelaza i wodę do 100%, a w przypadku gdy elementy stalowe posiadają w warstwie przypowierzchniowej głęboko zawalcowaną zgorzelinę żarzeniowo-walcowniczą, trawi się je w kąpieli kwasowej zawierającej wagowo: 18-20% kwasu solnego, 0,5-1% azotanu sodu, 0,5-1% kwasu borowego, 0,5-5% kwasu siarkowego i 0,5-3% kwasu fosforowego, przy czym kwas siarkowy łącznie z kwasem fosforowym mogą być zastąpione przez kwasy mlekowy, szczawiowy względnie cytrynowy w ilości 1-5%, a po zakończonym trawieniu płucze się elementy stalowe w wodzie o temperaturze $20-25^{\circ}\text{C}$ przez 5-10 minut i zanurza się w roztworze topnika o składzie podanym wagowo: 12-13% chlorku amonu, 22-24% chlorku cynku, 1,5-1,8% chlorku sodu, 1,5-1,8% chlorku potasu, 0,8-1,0% chlorku magnezu lub karnalitu, 0,2-0,4% gliceryny, resztę stanowi woda, przy czym temperaturę tego roztworu utrzymuje się na poziomie $40-60^{\circ}\text{C}$, a po upływie 5-15 minut elementy wyjmują się z roztworu topnika i suszy w temperaturze $130-150^{\circ}\text{C}$, aż zawartość wody w wysuszonej warstwie topnika wyniesie

3-10%, po czym elementy stalowe z nałożoną warstwą topnika zanurza się na 4-8 minut w kąpeli stopowej o temperaturze $450-460^{\circ}\text{C}$ i zawierającej wagowo: 0,45-0,75% ołowiu, 0,002-0,26% cyny, 0,001-0,35% antymonu, 0,08-0,25% kadmu, 0,14-0,16% aluminium, 0,0012-0,15% miedzi, 0,005-0,08% żelaza, 0,0001-0,015% arsenu, 0,0001-0,03% chromu, 0,001-0,02% manganu, 0-0,03% magnezu, resztę stanowi cynk, przy czym kąpiel stopową uprzednio rafinuje się przy użyciu rafinatora o składzie podanym wagowo: 67-75% chlorku amonu, 8-15% polimetakrylanu metylu, 7-9% chlorku sodu, 6-8% chlorku potasu, 1-4% karnalitu lub siarczanu magnezowo-potasowego i usuwa zanieczyszczenia z lustra kąpeli, a po wyjęciu z kąpeli stopowej elementy stalowe poddaje się procesowi przedłużonej obróbki cieplnej przez ostygnięcie wyrobów w powietrzu do określonej temperatury, następnie obróbką cieplną przerywa się przez zanurzenie wyrobów do wody, przy czym w przypadku gdy wyroby posiadają stosunek ich powierzchni do masy wynoszący 30 m^2 powierzchni do 1 Mg masy ostygnięcie w powietrzu przerywa się przy temperaturach $400-405^{\circ}\text{C}$ zanurzając wyroby do wody, przy stosunku powierzchni 44 m^2 do 1 Mg masy studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach $350-330^{\circ}\text{C}$, przy stosunku powierzchni 65 m^2 do 1 Mg masy studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach $325-310^{\circ}\text{C}$, przy stosunku powierzchni 75 m^2 do 1 Mg masy studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach $300-280^{\circ}\text{C}$, przy stosunku 100 m^2 powierzchni do 1 Mg masy studzenie przerywa się przy temperaturach $275-260^{\circ}\text{C}$, przy stosunku powierzchni 125 m^2 do 1 Mg masy studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach $250-230^{\circ}\text{C}$, przy stosunku powierzchni 150 m^2 do 1 Mg masy studzenie w powietrzu przerywa się przy temperaturach $220-200^{\circ}\text{C}$, przy stosunku powierzchni powyżej 150 m^2 do 1 Mg masy studzenie prowadzi się wyłącznie w powietrzu.