|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Karta projektu badawczo-rozwojowego** | | | | |
|
| **Tytuł projektu** | | **Opracowanie i wdrożenie automatycznej technologii obróbki**  **do drewnianych profili własnej konstrukcji okien skrzynkowych** | | |
| **Numer ewidencyjny projektu** | | **BR – DREWNO - okna skrzynkowe** | | |
| **OPIS DZIAŁAŃ BADAWCZO ROZWOJOWYCH:** | | | | |
|
| ***Cel/ Opis nowych zakładanych właściwości/ funkcjonalności rozwiązania (produktu lub procesu)*** | Celem projektu było opracowanie i wdrożenie zautomatyzowanej technologii wytarzania okien skrzynkowych (z przeznaczeniem od zabytkowej zabudowy), co wymagało opracowania nowych elementów procesu technologicznego:   * procesu impregnacji profili drewnianych, * procesu zintegrowanej obróbki frezowej na dedykowanym centrum CNC Conturex (tak aby odtworzyć historyczne elementy dekoracyjne przy spełnieniu współczesnych wymagań jakości i powtarzalności produkcji).   Konstrukcja okien skrzynkowych składa się ze „skrzyni” i dwóch niezależnych ram (zewnętrznej i wewnętrznej), a ich wykonanie wymaga precyzyjnego spasowania wielu warstw i okuć; tu w projekcie okna połączono dodatkowo dwie różne rodziny profili (inny system dla skrzynki zewnętrznej i inny dla wewnętrznej). W warstwie konstrukcyjnej odtworzono okna skrzynkowe wielowarstwowe (dwie warstwy: skrzynka + skrzydła z szybą pojedynczą oraz zestaw z szybą podwójną) oraz opracowano własne sprzęgło, które przy uchyleniu/otwieraniu jednego skrzydła przenosi ruch na drugie (rozwiązanie typowe dla układów zespolonych, tu dostosowane do specyfiki stolarki zabytkowej).  Wdrożone gniazdo produkcyjne CNC WEINIG Conturex, które zapewniło pełną obróbkę elementów okien drewnianych (złożone połączenia naroży, frezowanie kształtowe, wiercenia i operacje pod okucia) w jednym przejściu, z automatyzacją załadunku/rozładunku i programowalnymi chwytakami, co podniosło dokładność i ograniczyło ręczną obróbkę uzupełniającą charakterystyczną dla pierwszych serii wyrobów.  Opracowano i wdrożono stanowisko impregnacji profili zaprojektowano jako etap wstępnego zabezpieczenia profili (impregnat/podkład) metodą przepływową (flow-coating), z automatycznym odprowadzeniem nadmiaru i kontrolą parametrów procesu i zapewnia równomierne, powtarzalne pokrycie elementów przed dalszym lakierowaniem.  Efektem projektu było uzyskanie nowych właściwości i funkcjonalności procesu oraz wyrobu:   * możliwość seryjnego wytwarzania odtworzeniowych okien skrzynkowych (w tym nietypowych zestawów i złączy skrzynek) z powtarzalną geometrią i estetyką dzięki programom Conturex oraz dedykowanym przyrządom montażowym, * stabilny etap impregnacji profili zapewniający równomierne nasycenie i przygotowanie do dalszych powłok, co poprawiło trwałość i odporność eksploatacyjną, * integracja dwóch różnych systemów profili (zewnętrznego i wewnętrznego) w jednej konstrukcji, z opracowanymi regułami pasowania, kompensacjami wymiarowymi i kontrolą długości elementów, * zastosowanie autorskiego sprzęgła do współpracy skrzydeł (otwieranie z jednego punktu), co ułatwiło obsługę i pozwoliło zachować historyczny charakter przy współczesnej funkcjonalności, * redukcja ręcznych uzupełnień dzięki parametryzacji obróbek, szablonom kontrolnym i sekwencji ustawień CNC; w przypadku detali nieobsługiwanych automatycznie zdefiniowano standardy obróbki ręcznej, by utrzymać jakość partii.   Łącznie rozwiązanie połączyło wymogi konserwatorskie z przemysłową powtarzalnością: od zabezpieczenia materiału (impregnacja), przez obróbkę wieloosiową na Conturex, po montaż wielowarstwowych zespołów skrzynkowych z własnym sprzęgłem – gotowych do wytwarzania w trybie seryjnym, z kontrolowaną jakością na każdym etapie.  Projekt zrealizowano w pięciu uporządkowanych etapach, z określonymi kryteriami przejścia (gate) i wskaźnikami KPI (FPY, czas cyklu, odsetek poprawek, zgodność wymiarowa).   1. Przygotowanie Zdefiniowano cel, zakres, harmonogram i budżet; ustalono KPI; opracowano matrycę odpowiedzialności (RACI) oraz plan jakości i BHP. 2. Prototypowanie i walidacja rozwiązania Wykonano krótkie serie prototypowe: konfiguracja stanowiska impregnacji (flow-coating) i programów CNC Conturex, przegląd wyników, korekty makr/uchwytów, walidacja funkcjonalna (szczeliny, dociski, praca sprzęgła). 3. Dostosowanie i organizacja linii Ustalono docelowy przepływ: impregnacja → kondycjonowanie → Conturex → montaż; przygotowano przyrządy i szablony, wdrożono procedury przezbrojeń i kontroli pośrednich. 4. Standaryzacja procesu Opracowano i zatwierdzono SOP/IO, plan kontroli (punkty QC po impregnacji, po CNC, po montażu), karty narzędzi i parametryzację makr; przeszkolono operatorów i UR. 5. Wdrożenie seryjne i stabilizacja Przeprowadzono serię 0, monitoring KPI w czasie rzeczywistym, przegląd powdrożeniowy i zamrożenie konfiguracji (baseline) po osiągnięciu celów jakościowych i wydajnościowych.   Wyodrębnione i zorganizowane zasoby   * Zespół projektowy (wydzielony): kierownik projektu, technolog CNC (Conturex), inżynier procesu impregnacji, inżynier jakości, przedstawiciel UR, BHP, lider zmiany montażu. * Infrastruktura techniczna: stanowisko impregnacji flow-coating z kontrolą parametrów, centrum CNC WEINIG Conturex z oprzyrządowaniem i magazynem narzędzi, dedykowane przyrządy/uchwyty i szablony kontrolne, stanowiska montażowe. * Oprogramowanie i dane: biblioteki makr/obróbek dla Conturex, karty nastaw procesu, rejestry QC i traceability, harmonogram kalibracji narzędzi i przyrządów. * Zasoby operacyjne: zaplanowane moce maszynowe (okna czasowe na prototypy i serię 0), budżet na narzędzia/środki chemiczne, bufor materiałowy na testy.   Rezultatem wybranej metodyki było kontrolowane, etapowe uruchomienie procesu z pełnym zabezpieczeniem jakości i bezpieczeństwa pracy oraz trwałe osiągnięcie założonych parametrów wydajności i powtarzalności produkcji. | | | |
|
|
|
| ***Podstawowe etapy projektu*** | | | | |
| ***Numer etapu*** | ***Nazwa etapu*** | | | ***Data realizacji*** |
| 1. | Przygotowanie | | | 02 - 2024 |
| 2. | Prototypowanie i walidacja rozwiązania | | | 02 – 2024 –  04 - 2024 |
| 3. | Dostosowanie i organizacja linii | | | 04 – 2024 –  05 – 2024 |
| 4. | Standaryzacja procesu | | | 06 – 2024 –  08 – 2024 |
| 5. | Wdrożenie seryjne i stabilizacja | | | 09 – 2024 –  10 - 2024 |
| ***Wykaz najważniejszych problemów badawczych oraz sposób ich rozwiązania*** | 1. Integracja dwóch systemów profili w jednej konstrukcji skrzynkowej Problem: zewnętrzna skrzynka i wewnętrzna rama pochodziły z różnych rodzin profili (różne bazy, wręgi, promienie narzędzi, grubości). Skutkowało to trudnością w spasowaniu i ryzykiem kumulacji tolerancji. Rozwiązanie: zmapowano bazy odniesienia i zdefiniowano „reguły pasowania” (offsety, kompensacje długości/głębokości wręgów). Przygotowano parametryczne makra obróbek w Conturex oraz zestaw przyrządów montażowych, które stabilizowały pozycjonowanie podczas klejenia i skręcania. 2. Wielowarstwowa konstrukcja (skrzydło + skrzynka) w dwóch wariantach szklenia Problem: asymetria masy i sztywności (warstwa z szybą podwójną vs pojedynczą) powodowała różnice w kinematyce, opadanie i rozjeżdżanie docisków/uszczelek. Rozwiązanie: zróżnicowano okucia i wzmocnienia dla warstw, wprowadzono korekty docisków i dystansów, a w kartach technologicznych zapisano odrębne tolerancje dla obu wariantów szklenia. Zweryfikowano nośności i ugięcia w testach funkcjonalnych. 3. Autorskie sprzęgło do współpracy skrzydeł Problem: opracowanie sprzęgła, które przenosiło ruch uchylania/otwierania z jednego skrzydła na drugie, przy minimalnym luzie, niskich oporach i bez kolizji z profilami i detalami zabytkowymi. Rozwiązanie: wykonano serię prototypów, zbadano kinematykę i trwałość (cykle), dobrano materiały ślizgowe i punkty smarowania. Zdefiniowano zakres regulacji (skok, pre-load), a geometrię mocowań wprowadzono do makr CNC. 4. Nietypowe łączenia i zestawy skrzynek (w tym naroża) Problem: zachowanie ciągłości uszczelnień/odwodnień i estetyki profili przy nietypowych połączeniach. Rozwiązanie: zaprojektowano dedykowane łączniki i gniazda, dodano specjalne frezy/narzędzia w bibliotece Conturex, a w przyrządach montażowych przewidziano wkładki wymienne dla różnych wariantów naroży. 5. Stabilność wymiarowa drewna a impregnacja (flow-coating) Problem: zmiana wilgotności po impregnacji powodowała pęcznienie, skręcanie i odchyłki wymiarów, co utrudniało późniejsze spasowanie. Rozwiązanie: wprowadzono kondycjonowanie elementów (czas schnięcia, kontrola RH/°C), monitoring lepkości i naddatki obróbkowe „po impregnacji”. Zastosowano stojaki ociekowe i kontrolę strugi, aby uniknąć zacieków i przepełnień na krawędziach funkcyjnych. 6. Parametryzacja obróbek kształtowych (dekor) w Conturex Problem: pierwsze serie miały wiele detali nieobsługiwanych automatycznie, co generowało ręczne uzupełnienia i zmienność jakości. Rozwiązanie: utworzono bibliotekę profili i dekorów jako makra parametryczne (R, głębokość, skok), wdrożono kompensację promienia narzędzia i korekcję zużycia. W miejscach nieosiągalnych dla CNC opracowano standardy ręcznych operacji (SOP) i wzorce kontrolne. 7. Utrzymanie długości profili i jakości złączy (pierwsze okna na centrum) Problem: długie, smukłe elementy wpadały w drgania i „schodki” przejść narzędzi, co degradowało złącza i krawędzie widoczne. Rozwiązanie: zoptymalizowano strategię mocowania (chwytaki programowalne, podpory), podzielono ścieżki na przejścia wykańczające, dobrano posuwy/obroty i kolejność operacji, aby ograniczyć wibracje i wyrwania włókien. 8. Jednoznaczne bazowanie i tolerancje montażowe w układzie wielowarstwowym Problem: kumulacja tolerancji na kolejnych warstwach prowadziła do rozjechania szczelin i docisków. Rozwiązanie: wprowadzono system baz referencyjnych (A/B/C) dla każdej warstwy oraz kontrolę pośrednią po kluczowych operacjach (QC-D1). Opracowano listy kontrolne szczelin i docisków (grubości podkładek, nastawy okuć). 9. Kompatybilność okuć z warstwami o różnej masie i grubości Problem: jeden zestaw okuć nie zapewniał równoważnej pracy obu skrzydeł. Rozwiązanie: zastosowano wariantowanie okuć (zawiasy, zaczepy, ograniczniki) i oddzielne karty regulacyjne dla warstw, uwzględniające różnice mas i momentów. Zdefiniowano momenty dokręcania i punkty serwisowe. 10. Ciągłość izolacyjno-odwodnieniowa przy detalach zabytkowych Problem: dekoracyjne wręgi i listwy zakłócały ścieżki spływu wody i strefy uszczelnień. Rozwiązanie: przeprojektowano kanały odwodnień, dodano dyskretne przeloty i wkładki uszczelniające, a krytyczne krawędzie zabezpieczono technologicznie (maskowanie przed impregnacją/lakierem, doszczelnienia po montażu). 11. Redukcja ręcznej obróbki i standaryzacja uzupełnień Problem: duży udział prac ręcznych w pierwszych seriach obniżał powtarzalność. Rozwiązanie: każdą ręczną operację zastąpiono makrem CNC tam, gdzie to możliwe; dla pozostałych czynności powstały SOP-y, wzorce i mierniki kontrolne (go/no-go), co ujednoliciło jakość. 12. Jakość powierzchni po impregnacji i obróbce Problem: włókna podniesione po impregnacji, ślady narzędzi na profilach widocznych. Rozwiązanie: wprowadzono cykl mikroszlifów między etapami, dobrano gradacje i tory pyłowe, aby utrzymać klasę powierzchni pod lakier. 13. Traceability i kontrola procesu Problem: trudność w identyfikacji przyczyn odchyleń w złożonej, wieloetapowej technologii. Rozwiązanie: wdrożono karty procesowe z punktami kontrolnymi (po impregnacji, po CNC, po montażu okuć/sprzęgła), etykiety partii i rejestr ustawień maszyn oraz wyników pomiarów (siły operacyjne, szczeliny, dociski). 14. BHP i środowisko przy impregnacji (VOC) Problem: emisja oparów, ryzyko poślizgów i kontaktu skóry z impregnatem. Rozwiązanie: zapewniono wentylację, odzysk nadmiaru środka i organizację stref ocieku; wdrożono środki OZO, procedury rozlewu awaryjnego i szkolenia stanowiskowe.   Powyższe działania umożliwiły seryjne wytwarzanie okien skrzynkowych odtworzeniowych z zachowaniem wymogów konserwatorskich i przemysłowej powtarzalności. Zestaw rozwiązań (parametryzacja makr w Conturex, reguły pasowania systemów profili, kontrola impregnacji, autorskie sprzęgło, przyrządy i SOP-y) zredukował prace ręczne, ustabilizował jakość i skrócił czas cyklu, przy jednoczesnym zapewnieniu trwałości, szczelności i estetyki wyrobu. | | | |
| ***Podstawowe prace o charakterze twórczym w projekcie*** | W projekcie opracowano i wdrożono komplet autorskich rozwiązań konstrukcyjno-procesowych, które umożliwiły seryjne wytwarzanie odtworzeniowych okien skrzynkowych z zachowaniem detali dekoracyjnych oraz przemysłowej powtarzalności.   * zaprojektowano i uruchomiono stanowisko impregnacji profili metodą flow-coating: dobrano receptury impregnatów/podkładów, zdefiniowano parametry procesu (lepkość, wydajność, czas ocieku/schnięcia), geometrię ocieku i system odzysku nadmiaru; opracowano procedury kondycjonowania wilgotności drewna przed/po impregnacji, * opracowano parametryczną technologię obróbki na centrum CNC WEINIG Conturex: przygotowano biblioteki narzędzi i makra obróbkowe (frezowania kształtowe, wręgi, otwory pod okucia, gniazda łączników), strategie mocowania smukłych elementów i sekwencje przejść wykańczających ograniczające drgania i wyrwania włókien, * zaprojektowano autorskie sprzęgło współpracy skrzydeł (uchył/otwarcie jednego przenoszone na drugie): wykonano serię prototypów, przeprowadzono badania kinematyki i trwałości, dobrano materiały ślizgowe i okno regulacji (skok, pre-load) oraz zintegrowano geometrię mocowań z programami CNC, * zintegrowano w jednej konstrukcji dwie różne rodziny profili (zewnętrzną i wewnętrzną): zmapowano bazy odniesienia, opracowano reguły pasowania i kompensacje długości/głębokości wręgów, przygotowano przyrządy montażowe i wzorce pozycjonujące do klejenia/scręcania warstw, * zaprojektowano nietypowe łączniki i połączenia skrzynek (w tym naroża): przygotowano dedykowane frezy/narzędzia oraz wymienne wkładki w przyrządach, aby utrzymać ciągłość uszczelnień i ścieżek odwodnienia przy zachowaniu historycznych przekrojów i dekorów, * opracowano standardy obróbek ręcznych dla detali nieosiągalnych na CNC (profilowania, podcięcia, maskowania krawędzi): przygotowano SOP-y, wzorce „go/no-go”, sekwencje mikroszlifów i gradacje papierów dla jednolitej jakości powierzchni pod lakier, * przygotowano kompletną dokumentację technologiczną: karty nastaw impregnacji, karty narzędzi i programów Conturex, instrukcje montażu i regulacji okuć/sprzęgła, listy kontrolne szczelin i docisków oraz plan kalibracji przyrządów, * wdrożono system jakości i śledzenia partii (traceability): punkty kontroli po impregnacji, po CNC i po montażu, pomiary szczelin/docisków i sił operacyjnych, etykiety partii z zapisem ustawień maszyn, * przeprowadzono szkolenia operatorów i utrzymania ruchu: obsługa linii impregnacji, programowanie/obsługa Conturex, montaż i regulacja sprzęgła, standardy BHP i ochrony środowiska (VOC).   Efektem tych prac była gotowa do seryjnego użycia, spójna technologia – od zabezpieczenia materiału, przez wieloosiową obróbkę CNC, po montaż wielowarstwowych zespołów skrzynkowych ze sprzęgłem – zapewniająca powtarzalność wymiarową, trwałość, szczelność i estetykę wymagane dla stolarki zabytkowej. | | | |
| ***Poziom innowacyjności projektu*** | **Innowacja w skali przedsiębiorstwa** | | **Innowacja w skali kraju** | |
| Tak | | Nie | |
| ***Podsumowanie projektu*** | Projekt zakończył się pełnym opracowaniem i wdrożeniem zautomatyzowanej technologii wytwarzania okien skrzynkowych przeznaczonych do zabudowy zabytkowej. Uruchomiono stanowisko impregnacji profili metodą flow-coating oraz gniazdo obróbcze na centrum CNC WEINIG Conturex, które zapewniało zintegrowane frezowanie kształtowe, wiercenia i przygotowanie gniazd pod okucia w jednym przejściu z automatycznym załadunkiem i rozładunkiem.  Dzięki parametryzacji obróbek i standaryzacji operacji ograniczono prace ręczne typowe dla pierwszych serii i uzyskano powtarzalną jakość przemysłową.  W warstwie konstrukcyjnej odtworzono okna skrzynkowe wielowarstwowe, łącząc dwie rodziny profili (zewnętrzną i wewnętrzną) oraz dwa warianty szklenia (szyba pojedyncza i podwójna). Opracowano i wdrożono autorskie sprzęgło współpracy skrzydeł, które przenosiło ruch uchylania/otwierania między warstwami, zachowując historyczny charakter wyrobu przy współczesnej funkcjonalności. Zdefiniowano reguły pasowania i kompensacje wymiarowe, przygotowano przyrządy montażowe oraz listy kontrolne szczelin i docisków, co zapewniło stabilną geometrię i szczelność.  Efektem prac było:   * seryjne wytwarzanie odtworzeniowych okien skrzynkowych o powtarzalnej geometrii i estetyce, * stabilny, kontrolowany etap impregnacji poprawiający trwałość i odporność eksploatacyjną, * redukcja udziału obróbek ręcznych dzięki bibliotekom makr CNC i szablonom kontrolnym, * pełna dokumentacja procesowa, SOP i system traceability z punktami kontroli po impregnacji, po CNC i po montażu, * przygotowanie zespołu i zaplecza technicznego do dalszej skalowalności produkcji oraz realizacji nietypowych zestawów i połączeń skrzynek wymaganych przez nadzór konserwatorski.   Projekt dostarczył spójnej technologii łączącej wymogi konserwatorskie z efektywnością produkcji seryjnej: od zabezpieczenia materiału, przez wieloosiową obróbkę na Conturex, po montaż wielowarstwowych zespołów ze sprzęgłem, z zapewnieniem trwałości, szczelności i wysokiej estetyki wyrobu. | | | |
|
|
|
|
|
|
|
|
|
| **Dokumentacja projektowa (załączniki do karty projektu)** | | | | |
| 1. | Dokumentacja techniczna | | | |
| 2. | Dokumentacja produkcyjna | | | |
| 3. |  | | | |
| 4. |  | | | |