

MODYFIKACJA DREWNA SYNTETYCZNYMI ŻYWICAMI Z WYKORZYSTANIEM ENERGII ELEKTROMAGNETYCZNEGO POLA WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Genadij Szutow

Laboratorium Problemowe Modyfikacji Drewna przy Białoruskim Instytucie Technologicznym im. S. M. Kirowa Mińsk, ZSRR

W rozwiązaniu problemu kompleksowego wykorzystania surowca drzewnego, szerszego stosowania drewna gatunków liściastych miękkich, rozszerzenia stref użytkowania drewna w różnych procesach produkcyjnych duże znaczenie ma modyfikacja drewna żywicami syntetycznymi i monomerami, wprowadzanymi w stanie ciekłym a następnie utwardzonymi pod działaniem ciepła, inicjatorów chemicznych, promieniowania jonizującego, energii elektromagnetycznej o bardzo wysokiej częstotliwości.

W ostatnich latach znaczenie modyfikacji drewna ciągle wzrasta w związku z koniecznością zapewnienia trwałości użytkowanej konstrukcji drewnianych, zabezpieczenia drewna przed korozją biologiczną, zapaleniem się oraz działaniem środowisk chemicznie agresywnych. Ważne znaczenie ma również stale rosnące zapotrzebowanie i deficyt drewna wysokiej jakości zwłaszcza gatunków liściastych twardych.

W wyniku modyfikacji drewna żywicami syntetycznymi otrzymujemy nowy materiał drewno-polimer. Budowa anatomiczna drewna wyjściowego pozostaje bez zmian, przestrzenie komórkowe zaś wypełniają się polimerem. Otrzymany materiał łączy w sobie właściwości drewna i polimeru; drewno stanowi konstrukcję przestrzenną, a polimer spełnia rolę materiału wypełniającego. Materiał wypełniający może być składnikiem czysto mechanicznym lub też może wchodzić w związki chemiczne z drewnem. Często monomer lub żywica w związku z ich wysoką lepkością i dużą wielkością cząsteczek nie przenika do błon komórkowych drewna i rozprzestrzenia się tylko w makroprzestrzeni, czyli w przestrzeniach naczyń, komórek itp. Niektóre monomery i żywice, w zależności od ich właściwości i metod nasycania, nie tylko przenikają do przestrzeni

komórkowych, lecz także wchodzą w związki chemiczne ze składnikami drewna.

Na kierunek przebiegu procesu wpływ ma budowa chemiczna stosowanych monomerów, budowa składników drewna oraz wiele innych czynników.

Przy ukierunkowanej zmianie właściwości fizykomechanicznych, czyli przy modyfikacji drewna zachodzi możliwość przebiegu dwu procesów:

1) modyfikacja właściwości drewna bez zmiany składu chemicznego i masy cząsteczkowej makrocząsteczek (modyfikacja strukturalna) czyli utwardzanie monomerów lub żywicy w przestrzeniach komórkowych drewna z powstawaniem homopolimeru związanego na zasadzie fizykomechanicznej ze składnikami drewna,

2) modyfikacja drewna ze zmianą składu chemicznego i masy makrocząsteczkowej jego składników (kopolimeryzacja szczepiona i kopolimeryzacja blokowa, reakcja w łańcuchach podstawowych i w bocznych grupach makrocząsteczek drewna).

Oba te procesy przy modyfikacji drewna są do przyjęcia tym bardziej, że z reguły przebiegają one równocześnie. Jednak najlepsze parametry przy modyfikacji otrzymujemy przy szczepieniu syntetycznych polimerów na składnikach substancji drzewnej, ponieważ otrzymany w tym wypadku materiał charakteryzuje się głęboką zmianą właściwości drewna wyjściowego, wysokim stopniem wiązania polimeru z drewnem i wieloma innymi polepszonymi wskaźnikami.

Z punktu widzenia technologicznego procesy modyfikacji drewna składają się z dwóch podstawowych etapów: 1) nasycania drewna monomerem lub żywicą oligomerową, 2) homopolimeryzacji lub kopolimeryzacji szczepionej monomerów i wielocząsteczkowych składników drewna. W wyniku drugiego stadium następuje utwardzanie wprowadzonej do drewna żywicy.

Głównymi metodami dokonania procesów polimeryzacji przy modyfikacji drewna są metody radiacyjnego i termokatalitycznego oddziaływania.

Porównując metody radiacyjnego i termokatalitycznego utwardzania wprowadzonych do drewna żywic syntetycznych, należy zwrócić uwagę na niektóre wady tych metod.

Metoda radiacyjna wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych. Stosunkowo wysokie koszty napromieniowania stanowią główną pozycję kosztów własnych otrzymywanego materiału. Metody tej nie można stosować w zakładach przemysłu drzewnego, ponieważ korzystnymi ekonomicznie są tylko duże urządzenia radiacyjne o szerokim profilu zastosowania i przeznaczone nie tylko do modyfikacji drewna. Należy zaznaczyć również, że przy dostatecznie wysokich dawkach promieniowania możliwa

jest częściowa destrukcja drewna wyjściowego. Poza tym istnieją pewne trudności technologiczne, związane z wymaganiami bezpieczeństwa pracy, których zachowanie jest niezbędne przy pracy z substancjami promieniotwórczymi. Ze względu na wymienione wady metoda radiacyjna nie ma szerszego zastosowania w przemyśle.

Omawiając termokatalityczną metodę utwardzania należy zaznaczyć, że intensywna i długotrwała obróbka termiczna może spowodować obniżenie wytrzymałości drewna zmodyfikowanego. Stosowanie łagodniejszych parametrów utwardzania powoduje znaczne zwiększenie czasu trwania procesu utwardzania. Stosowanie katalizatorów ogranicza żywotność żywic nasycających. Poza tym niektóre katalizatory przy działaniu wysokich temperatur mogą spowodować częściową destrukcję drewna. Proces termokatalitycznego utwardzania żywic syntetycznych w drewnie sposobem konwekcyjnym wymaga długiego czasu (do kilkudziesięciu godzin).

W celu intensyfikacji procesu technologicznego utwardzania żywic syntetycznych, polepszenia jakości drewna zmodyfikowanego w Laboratorium Modyfikacji Drewna Białoruskiego Instytutu Technologicznego im. S. M. Kirowa opracowany został sposób i urządzenie do utwardzania drewna zmodyfikowanego w polu elektromagnetycznym o bardzo wysokich częstotliwościach.

W przemyśle coraz częściej stosuje się do różnych celów nagrzewanie dielektryczne materiałów z zastosowaniem energii drgań elektromagnetycznych bardzo wysokiej częstotliwości (w.cz.). Przez częstotliwość bardzo wysoką rozumie się częstotliwości od 300 do 300 tys. MHz ($\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$). Odpowiada to długości fal od 1 m do ułamków milimetra. Obecnie istnieją generatory o dużej mocy promieniowania bardzo wysokiej częstotliwości z zakresem decymetrowym i centymetrowym. Promieniowanie bardzo wysokiej częstotliwości największe zastosowanie ma w obróbce produktów spożywczych łącznie z procesami suszenia, rozmrażania i odgrzewania produktów żywnościowych i gotowych dań oraz pieczenia, sterylizacji i innych. Znane są przykłady stosowania energii bardzo wysokiej częstotliwości w przemyśle, na przykład do suszenia różnych materiałów i wyrobów, kruszenia skał i betonu, spawania tworzyw sztucznych i inne.

Nagrzewanie z zastosowaniem prądów bardzo wysokiej częstotliwości jak i z zastosowaniem prądów wysokiej częstotliwości (częstotliwość $15\text{-}20 \cdot 10^6 \text{ Hz}$) opiera się na zdolności dielektryków i półprzewodników do nagrzewania się w zmiennym polu elektromagnetycznym poprzez różne rodzaje polaryzacji. Największe znaczenie przy nagrzewaniu energią pola elektromagnetycznego o bardzo wysokiej częstotliwości ma polaryzacja dipolowa i strukturalna, które często nazywane są relaksacyjnymi

rodzajami polaryzacji. Intensywność nagrzewania w polu bardzo wysokiej częstotliwości, jak również i w polu wysokiej częstotliwości, określa się ilością energii pola elektromagnetycznego, przemieniającej się w energię cieplną w jednostce objętościowej materiału nagrzewanego. Dla materiałów dielektrycznych ilość generowanego wewnątrz ciepła zależy od wielkości czynnika strat dielektrycznych, natężenia, pola elektrycznego i częstotliwości drgań elektromagnetycznych i wyraża się następującą zależnością:

$$P_B = 55,6 \cdot 10^{-15} \cdot f \cdot E^2 \cdot \epsilon' \cdot \operatorname{tg} \delta, \text{ kW/m}^3 \quad (1)$$

gdzie:

- f — częstotliwość drgań elektromagnetycznych, Hz,
- E — natężenie składowej elektrycznej, V/m,
- ϵ' — względna przenikliwość dielektryczna materiału,
- $\operatorname{tg} \delta$ — tangens kąta strat dielektrycznych.

Szybkość nagrzewania materiału z pewnym przybliżeniem może być przedstawiona następująco:

$$\frac{dT}{dt} = 0,239 \frac{P_B}{C \gamma}, \text{ K/s} \quad (2)$$

gdzie:

- C — współczynnik pojemności cieplnej materiału, J/kg · K,
- γ — gęstość materiału, kg/m³.

Wyrażenie mocy jednostkowej P_B obejmuje wielkość natężenia pola elektrycznego E , która oznacza się:

$$E^2 = 2 \frac{10^4 \cdot P_p}{a \cdot b} \cdot W, \text{ V}^2/\text{m}^2 \quad (3)$$

gdzie:

- W — opór falowy, Ω .

$$W = \frac{W_0}{\sqrt{\epsilon'}} \quad (4)$$

- W_0 — opór falowy próżni, wynoszący 377 Ω ,

- a i b — wymiary otwarcia anteny napromieniującej, m,

P_p — moc przekazana materiałowi, związana z mocą generatora P_g i współczynnikiem odbicia pod względem napięcia ρ następującą zależność:

$$P_p = P_g \cdot (1 - \rho^2), \text{ wat} \quad (5)$$

Po podstawieniu zależności (1), (3), (4), (5), (2) otrzymamy:

$$\begin{aligned} & 0,239 \frac{2P_g(1 - \rho^2) \cdot W_o}{a \cdot b \cdot \sqrt{\epsilon'}} \cdot f \cdot \epsilon' \cdot \text{tg} \delta \\ & \frac{\quad}{c \cdot \gamma} = \\ & = 0,239 \frac{2P_g(1 - \rho^2) \cdot W_o \cdot \omega \cdot \epsilon'' \cdot \epsilon'_o}{a \cdot b \cdot c \cdot \gamma \cdot \sqrt{\epsilon'}} \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie:

ω — częstotliwość kątowna — $2\pi f$,

ϵ'' — czynnik strat — $\epsilon' \cdot \text{tg} \delta$,

ϵ' — bezwzględna przenikalność dielektryczna powietrza, wynosząca $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m.

Stosowanie urządzeń do nagrzewania dielektrycznego z częstotliwością wytwarzania o 2 rzędy wyżej w porównaniu z urządzeniami prądów wysokiej częstotliwości pozwala uniknąć wielu wad właściwych nagrzewaniu prądami wysokiej częstotliwości. Nagrzewanie jest możliwe przy znacznie mniejszym natężeniu pola elektrycznego — o rząd i więcej, co wyklucza możliwość przebicia elektrycznego materiałów. Możliwe jest nagrzewanie materiałów posiadających mały czynnik strat. Przy bardzo wysokich częstotliwościach długość fali, która równa się stosunkowi prędkości światła do częstotliwości drgań elektromagnetycznych, jest współwymierna z realnymi wymiarami ciał fizycznych. Wymiary geometryczne również są współwymierne z długością fali i mogą ją przewyższać. Dlatego fale z zakresem bardzo wysokiej częstotliwości posiadają właściwości *quasi*-optyczne, to znaczy pod względem charakteru rozprzestrzeniania się zbliżone są do fal świetlnych. Nadto drgania o bardzo wysokiej częstotliwości zachowują zalety zwykłych fal radiowych. Dzięki temu urządzenia stosujące bardzo wysokiej częstotliwości drgania odbiegają pod względem konstrukcji od urządzeń stosujących prądy wysokiej częstotliwości. W związku z tym kształt nagrzewanego materiału nie ma istotnego wpływu na charakter nagrzewania w porównaniu z nagrzewaniem prądami wysokiej częstotliwości w kondensatorze grzejnym. Zastosowanie rezonatora prądu bardzo wysokiej częstotliwości pozwala prze-

prowadzać nagrzewanie materiałów różnego kształtu z jednakową szybkością i równomiernością. Urządzenie stosujące nagrzewanie w polu bardzo wysokiej częstotliwości w odróżnieniu od urządzeń stosujących prądy wysokiej częstotliwości charakteryzują się wysoką technologicznością i wyższą sprawnością.

Wielu autorów uważa, że nagrzewanie prądami bardzo wysokiej częstotliwości otwiera nową stronicę w historii rozwoju techniki i technologii i podkreślają celowość i efektywność stosowania go w procesach suszenia, klejenia i innych czynnościach związanych z nagrzewaniem obrabianych materiałów. Istnieją duże możliwości stosowania energii bardzo wysokiej częstotliwości w technice w celu ukierunkowania oddziaływania na różne układy. Opracowano również u nas sposób i urządzenie do klejenia materiałów w polu elektromagnetycznym bardzo wysokich częstotliwości.

Stosowanie energii bardzo wysokich częstotliwości wymaga zbadania wielu zagadnień związanych z doбором optymalnych parametrów wyjściowych generatorów prądu bardzo wysokich częstotliwości, opracowania parametrów technologicznych obróbki materiałów i konstrukcji systemów ogrzewczych.

Stosuje się przeważnie 3 podstawowe schematy nagrzewania materiałów w polu prądów bardzo wysokiej częstotliwości (rys. 1):

1) nagrzewanie bezpośrednio w przestrzeni otwartej, gdy materiał umieszczono w strefie promieniowania w.cz. emitowanego przez antenę,

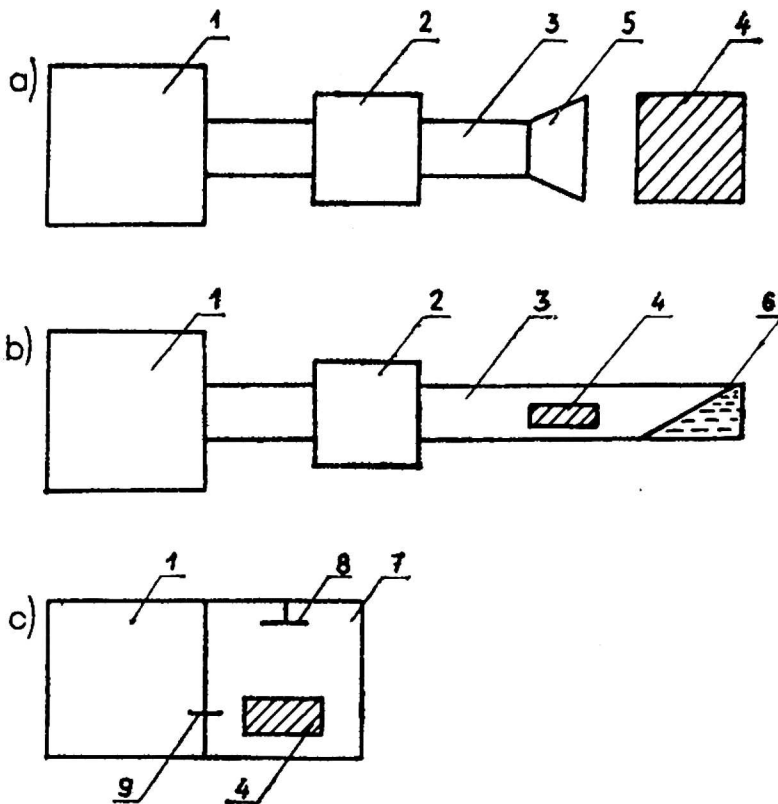
2) nagrzewanie bezpośrednio w samym falowodzie, w którym rozprzestrzenia się energia,

3) nagrzewanie w pustej komorze metalowej, stanowiącej rezonator objętościowy.

W skład tych schematów ogrzewczych wchodzi generator drgań elektromagnetycznych, urządzenie synchronizujące, falowód i źródło promieniowania (tylko dla trzeciego schematu charakterystyczne jest stosowanie metalowego rezonatora objętościowego, pobudzanego przez źródło promieniowania i posiadającego synchronizator w postaci wirnika skrzydełkowego).

Jako źródło energii bardzo wysokiej częstotliwości stosuje się przyrządy elektronowe i kwantowe, zasilane ze specjalnych źródeł. Wśród przyrządów elektronowych najszersze zastosowanie dla celów nagrzewania dielektrycznego znalazły lampy typu magnetron, klistron oraz lampa fali odbitej.

Przyrządy generatorowe produkowane są przez przemysł dla ściśle określonych, dopuszczonych do wykorzystania w przemyśle częstotliwości: 433, 915, 2450, 22000 MHz. Moc wyjściowa generatorów bardzo wysokich częstotliwości stale wzrasta.



Rys. 1. Schemat nagrzewania materiału energią pola elektromagnetycznego bardzo wysokich częstotliwości

a — nagrzewanie promieniem otwartym, *b* — nagrzewanie wewnątrz falowodu, *c* — nagrzewanie w rezonatorze objętościowym, 1 — generator w. cz., 2 — urządzenie synchronizujące, 3 — falowód, 4 — materiał nagrzewany, 5 — antena, 6 — dopasowane obciążenie wodne, 7 — rezonator objętościowy, 8 — dysektor, 9 — element łączności

Jako linie przekaźnikowe energii bardzo wysokiej częstotliwości o dużej mocy wykorzystuje się falowody. Są to puste metalowe rury o różnym przekroju poprzecznym: okrągłe, w kształcie litery *U* i *H* oraz innych kształtów. Najszerzej stosowane są falowody prostokątne. Struktura fal elektromagnetycznych przechodzących przez falowody różni się od fal rozprzestrzeniających się w wolnej przestrzeni. Fale te dzielą się na typy. Każdemu typowi fali powinien odpowiadać falowód o określonym przekroju poprzecznym.

Jako promienniki energii bardzo wysokiej częstotliwości stosuje się różne anteny z zakresem bardzo wysokiej częstotliwości: anteny szczelinowe, tubowe, wibracyjne i inne. W celu pobudzania energii w układach rezonatorowych stosowane są wtyki, pętle zwarte lub różne otwory łączności.

Stosowanie pierwszego schematu nagrzewania jest najprostsze i uniwersalne. Schemat ten można stosować do różnych procesów klejenia. Wymaga on jednak dodatkowej ochrony biologicznej ponieważ promieniowanie odbywa się w wolnej przestrzeni.

Schemat drugi znalazł duże zastosowanie w procesach suszenia cienkich materiałów arkuszowych, taśm filmowych, tkanin itp.

Schemat w komorze rezonatora znalazł szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym do nagrzewania i rozmrażania produktów spożywczych. Może być on również wykorzystany do sklejanía materiałów małych wymiarów.

Znając zasady nagrzewania prądami bardzo wysokich częstotliwości, jej zalety, wyposażenie i ideowe schematy nagrzewania można stwierdzić, że stosowanie nagrzewania prądami bardzo wysokich częstotliwości do intensyfikacji procesów technologicznych klejenia i utwardzania drewna nasyconego żywicami syntetycznymi jest sposobem perspektywicznym i efektywnym.

Jednym z podstawowych etapów otrzymywania drewna zmodyfikowanego żywicami syntetycznymi jest proces utwardzania żywic, wprowadzonych w porowatą strukturę drewna. Utwardzanie żywic w drewnie powinno przebiegać do momentu powstania polimeru termoutwardzalnego przy dostatecznie dużej szybkości procesu. Szybkość procesu może być w znacznym stopniu zintensyfikowana dzięki koncentracji katalizatorów wprowadzonych do żywicy, jednak w tym wypadku przeprowadzenie procesu technologicznego limitowane jest żywotnością roztworu impregnującego. Szybkość procesu utwardzania może być zwiększona przez zastosowanie różnych rodzajów oddziaływania energetycznego.

W celu przyspieszenia procesów polikondensacji lub polimeryzacji żywic w drewnie z układem inicjującym stosuje się obróbkę cieplną (inicjacja termokatalityczna procesu utwardzania żywic najczęściej trwa dośyć długo — do kilku godzin).

Stosowanie metody radiacyjno-chemicznej inicjacji procesu polimeryzacji żywic wymaga również długiego czasu oddziaływania, ponieważ stosowanie ostrych parametrów umożliwiających skrócenie czasu utwardzania powoduje znaczną destrukcję drewna. Poza tym napromieniowanie selektywnie działa na utwardzanie żywic i sprzyja tylko przebiegowi procesów wolnorodnikowych.

Przy intensyfikacji procesów utwardzania żywic syntetycznych w drewnie zasługuje na uwagę wykorzystanie energii pola elektromagnetycznego bardzo wysokiej częstotliwości. Jest to jedna z perspektywicznych metod przyspieszenia procesu technologicznego otrzymywania drewna zmodyfikowanego, ponieważ umożliwia w ciągu bardzo krótkiego czasu osiągnięcie znacznych temperatur i równomiernego nagrzewania całej próbki.

Przeprowadzono badania w celu określenia możliwości stosowania pola elektromagnetycznego bardzo wysokiej częstotliwości do utwardzania zarówno polikondensacyjnych jak i polimeryzacyjnych żywic synte-

tycznych. Zbadano kinetykę procesów polimeryzacji i polikondensacji żywicy z zastosowaniem inicjatora i bez inicjatora w polu elektromagnetycznym bardzo wysokich częstotliwości. Do zbadania kinetyki utwardzania jako żywicę polikondensacyjną stosowano żywicę fenolową, jako żywicę polimeryzacyjną — nienasyconą żywicę poliestrową typu PN-1 i inicjatorem był nadtlenek benzoilu o różnym stężeniu.

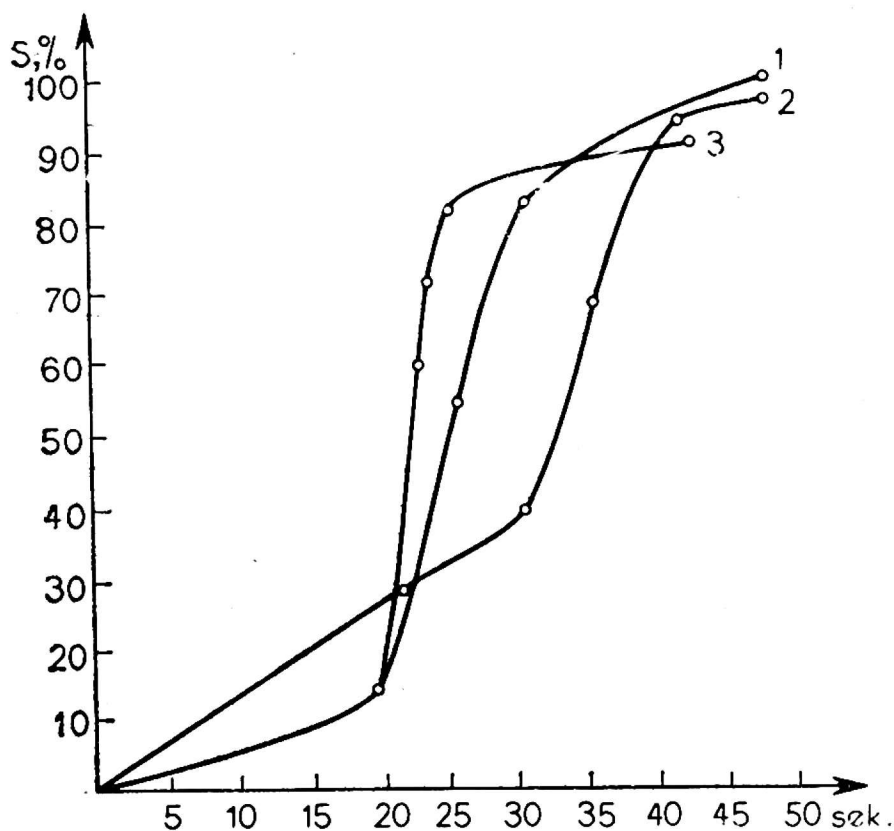
Energię generatora prądu bardzo wysokiej częstotliwości o mocy 935 wat poprzez falowód przekazywano do badanej żywicy. Probówkę z badaną żywicą umieszczono w otworze wykonanym w środku szerokiej ściany falowodu prostokątnego, w miejscu gdzie jest największe natężenie pola elektrycznego. Wymiary wewnętrzne falowodu: 90×45 mm. Średnica zewnętrzna próbki — 8 mm. Natężenie pola elektrycznego było stałe — 22 kV/m. Czas napromieniowania wahał się od 20 do 75 sekund.

Część energii pochłaniała próbka z żywicą. Nieznaczna część energii była odbita. Energia, która przeszła przez próbkę była pochłonięta przez obciążenie dopasowane, umiejscowione za falowodem. W celu zmniejszenia energii odbitej od próbki z żywicą próbkę tę umieszczono tak, żeby zapewnić najlepsze dopasowanie. Optymalne dopasowanie osiągnięto przy kącie nachylenia próbki do osi falowodu wynoszącym $1/6\pi$ rad. Przy tym współczynnik fali stojącej (WFS) dla żywic fenolowych wynosił 1, 2; dla nie nasyconej żywicy poliestrowej PN-1 czystej — 1,05; dla tej samej żywicy z domieszką 0,2% nadtlenu benzoilu (NB) — 1,35; a z domieszką 0,5% nadtlenu benzoilu — 1,38. Żywica poliestrowa PN-1 utwardzona w obecności inicjatora — 0,5% nadtlenu benzoilu przy kącie nachylenia $1/6\pi$ rad miała współczynnik fali stojącej 1,24.

Współczynnik fali stojącej oznaczono przy pomocy linii pomiarowej R1-6A i generatora bardzo wysokich częstotliwości 1Cz-9. Otrzymano produkty polimerowe o różnym stopniu utwardzenia. Kinetykę procesu utwardzania badanych żywic oznaczono na drodze selekcji ekstrakcji produktów małowcząsteczkowych polimeryzacji rozpuszczalnikami organicznymi w aparatach Soxhleta.

Zależności graficzne stopnia utwardzania żywicy fenolowej i żywicy poliestrowej PN-1 od czasu działania energii bardzo wysokiej częstotliwości podano na rysunku 2.

Otrzymane dane świadczą o tym, że reakcja polikondensacji pod działaniem energii w.cz. przebiega dostatecznie wyczerpująco. W czasie oddziaływania energii w.cz. wynoszącym 45 sekund powstaje 97,95% nierozpuszczalnego polimeru o strukturze trójwymiarowej. Przy oddziaływaniu tej energii w ciągu 75 sekund napromieniowania, czyli przy napro-



Rys. 2. Kinetyka stopnia utwardzania żywicy poliestrowej PN-1 i żywic fenolowych w czasie oddziaływania energii pola elektromagnetycznego bardzo wysokich częstotliwości

1 — PN-1 z nadtlenkiem benzoilu 0,5%, 2 — PN-1 z nadtlenkiem benzoilu 0,2%,
3 — żywice fenolowe

mieniowaniu w łagodniejszych warunkach, ilość powstającego nierozpuszczalnego polimeru struktury trójwymiarowej wynosiła 98,73%.

Kinetykę reakcji polimeryzacji nienasyconej żywicy poliestrowej PN-1 badano w obecności 0,2 i 0,5% nadtlenku benzoilu jako inicjatora.

Z rysunku 2 wynika, że reakcja polimeryzacji przebiega dostatecznie wyczerpująco. W czasie 45 sekund działania energii bardzo wysokiej częstotliwości stopień utwardzania żywicy PN-1 w obecności 0,5% NB osiąga 98,40%, a dla żywicy PN-1 z zawartością NB 0,2% w czasie 40 sekund powstaje 90,98% nierozpuszczalnego polimeru.

Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie energii pola elektromagnetycznego bardzo wysokiej częstotliwości pozwala na dostatecznie wyczerpujące przeprowadzenie procesu utwardzania żywic. Przy tym szybkość reakcji polikondensacji lub polimeryzacji żywic znacznie wzrasta i odpowiada 1-2 minutom, podczas gdy reakcje te pod wpływem nagrzewania konwekcyjnego w termostacie trwają kilka godzin.

W celu oznaczenia parametrów utwardzania w polu w.cz. żywic, wprowadzonych do drewna i oceny jakości otrzymanego drewna zmodyfikowanego zostały przeprowadzone specjalne badania. Badania wykonano z drewnem brzozywym. Dobierano próbki drewna o wymiarach 10 ×

$\times 10 \times 150$ mm o jednakowej gęstości, bez wad. Drewno suszono do stanu zupełnie suchego i nasycono różnymi żywicami według opracowanej metodyki. Jako impregnat stosowano roztwór handlowych żywic fenolowych w wodzie (2 : 1). Nasycone próbki napromieniowywano w polu elektromagnetycznym o bardzo wysokiej częstotliwości z generatora wysokiej częstotliwości.

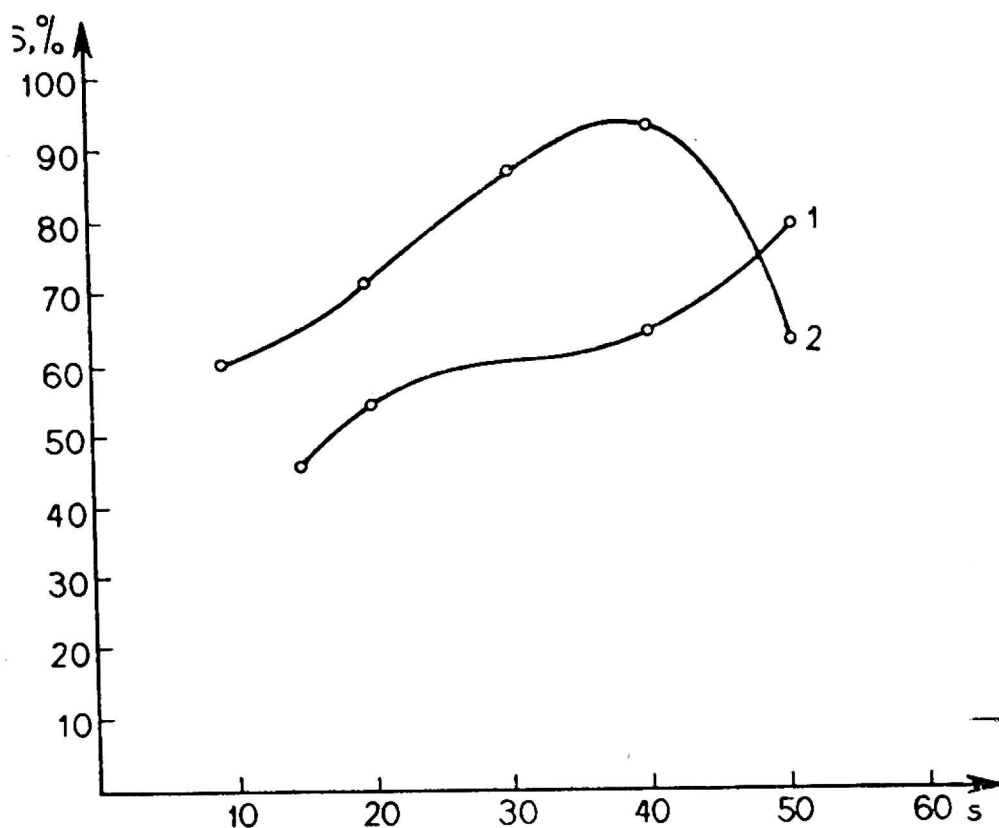
Napromieniowanie wykonywana anteną tubową. Kierunek przebiegu włókien drewna nasyconego wybierano równoległe do wektora natężenia elektrycznego pola E . Natężenie pola E wynosiło 21350 V/m i 16630 V/m. Czas oddziaływania był zmienny i trwał od 15 do 50 sekund przy natężeniu pola elektrycznego wynoszącym 16630 V/m i od 10 do 50 sekund przy natężeniu 21350 V/m.

Natychmiast po oddziaływaniu energii bardzo wysokiej częstotliwości w próbkach mierzono temperaturę termoelementem chromowo-miedziowym i rejestrowano przyrządem EPP-09.

Napromieniowywanie próbki umieszczono na podstawie z polistyrenu piankowego z przekładką teflonową. Było to niezbędne do ustawienia anteny pośrodku. Wybór podstawki był podyktowany małymi stratami w tym materiale energii pola elektromagnetycznego. Po napromieniowaniu próbki ważono i badano stopień utwardzenia wprowadzonej do drewna żywicy sposobem ekstrakcji selekcyjnej w aparacie Soxhleta.

Wyniki badania stopnia utwardzania żywic fenolowych w drewnie podano na rysunku 3. Otrzymane wyniki świadczą o tym, że proces utwardzania żywic fenolowych przebiega znacznie szybciej i z dosyć wysokim stopniem utwardzania przy większym natężeniu pola. Przy natężeniu pola $E = 21350$ V/m i czasie oddziaływania $\tau = 40$ sekund otrzymujemy największą ilość nierozpuszczalnego polimeru. Przy zwiększeniu czasu oddziaływania do 50 sekund ilość nierozpuszczalnego polimeru spada. Prawdopodobnie jest to spowodowane zjawiskiem destrukcji polimeru i drewna spowodowanej wzrostem temperatury w napromieniowywanej próbce. Optymalny czas napromieniowania wynosił od 30 do 40 sekund przy natężeniu pola $E = 21350$ V/m.

Przeprowadzone badania utwardzania żywic syntetycznych w drewnie wykazały możliwość stosowania energii pola elektromagnetycznego bardzo wysokiej częstotliwości do modyfikacji drewna. W wypadku stosowania żywic fenolowych oznaczono parametry umożliwiające otrzymanie do 97,0% utwardzonego w drewnie polimeru. Przeprowadzono badania nad utwardzaniem górnej warstwy licowej klejonej klepki parkietowej. Warstwa ta była wykonana z forniru nasyconego żywicami syntetycznymi z zastosowaniem energii bardzo wysokiej częstotliwości. Do badań użyto drewno brzozy, które dobrze nasycy się żywicami. Wykonane badania modyfikacji drewna brzożowego żywicami fenolowymi wykazały



Rys. 3. Stopień utwardzenia żywic fenolowych w drewnie w zależności od czasu napromieniowania

1 — $E = 16630$ V/m, 2 — $E = 21350$ V/m

polepszenie właściwości fizykomechanicznych, stabilizację kształtu i wymiarów drewna. Dlatego też jako żywicę syntetyczną przyjęto roztwór żywic fenolowych. Szczególne znaczenie ma modyfikacja drewna związkami karbamidowo-furanowymi, na przykład żywicą KF-90. W badaniach wstępnych żywicę tę stosowano obok żywic fenolowych w celu porównania parametrów utwardzania różnych żywic energią bardzo wysokiej częstotliwości. Należy jednak podkreślić pewne zalety żywic fenolowych; koszt żywic fenolowych jest w 2,5 razy niższy od kosztu żywicy KF-90, poza tym żywice fenolowe nie wymagają stosowania katalizatora.

Impregnacja drewna brzoźowego żywicami fenolowymi i związkami karbamidowo-furanowymi została opracowana przez Laboratorium Problemowe Modyfikacji Drewna Białoruskiego Instytutu Technologicznego im. S. M. Kirowa. Impregnację tę wykonuje się sposobem próżnia-ciśnienie. W metodzie tej impregnacja odbywa się w wyniku wytworzenia podciśnienia 80-93,3 kPa w czasie 30 min., wprowadzenia środka impregacyjnego i następnie wytworzenie ciśnienie około 1 MPa w czasie 1 godziny. Środkiem impregującym w tym badaniu był roztwór żywicy handlowej FS w wodzie w stosunku 1 : 0,5 części wagowych, a dla żywicy KF-90 — 60% żywicy i 40% wody oraz 0,5% chlorku amonowego jako katalizatora.

Wymiary próbek forniru brzożowego — $5-6 \times 60 \times 150$ mm. Wilgotność impregnowanych próbek wahała się od 20-60%. Zmianę wilgotności osiągnano przez podsuszanie próbek w temperaturze 333-343 K. Po doprowadzeniu do odpowiedniej wilgotności próbki forniru napromieniowywano energią bardzo wysokiej częstotliwości w wyniku czego temperatura forniru osiągnęła około 373 K, przy czym nastąpiło utwardzanie wprowadzonej do drewna żywicy syntetycznej.

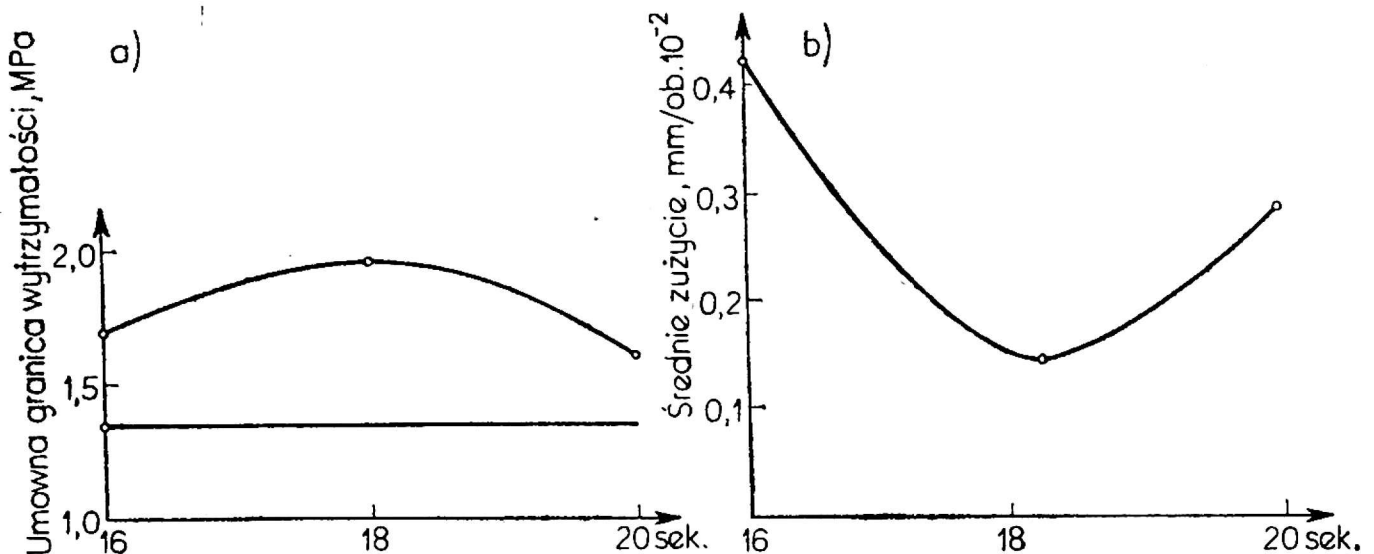
Z technologicznego punktu widzenia celem badań było oznaczenie optymalnych parametrów utwardzania z zastosowaniem energii bardzo wysokiej częstotliwości, przy których zmodyfikowane drewno charakteryzuje się najlepszymi wskaźnikami, odpowiadającymi wymaganiom stawianym górnej warstwie licowej parkietu.

W badaniach stosowano generatory wysokiej częstotliwości, których robocza częstotliwość wynosiła 2375-2450 MHz, moc — 5 kW i 1 kW. Wymiary szczeliny powinny pozwalać na swobodne przejście forniru nie dotykając falowodu. Przekrój poprzeczny utwardzanego forniru wynosił $5-6 \times 60$ mm, a więc wymiary szczeliny wynosiły 10×100 mm. Dużą zaletą tego schematu jest to, że szczelina wycięta w szerokiej ścianie falowodu całkowicie lub prawie całkowicie nie promieniuje energii, i że obecność szczeliny umożliwia dokonywanie ciągłego procesu utwardzania, w którym materiał utwardzany przesuwają się ciągle przez szczelinę w falowodzie.

Badania w zakresie otrzymywania drewna zmodyfikowanego z zastosowaniem energii pola elektromagnetycznego bardzo wysokiej częstotliwości wykonano według poniższej metodyki. Próbki łuszczyki brzożowej o grubości 5 mm impregnowane roztworem żywicy fenolowych i podsuszone do wilgotności 20% umieszczano pośrodku szczeliny falowodu, po czym próbkę napromieniowywano energią bardzo wysokiej częstotliwości. Badania wstępne wykazały, że przy rozpiętości czasu napromieniowania wynoszącej od 16 do 20 sekund otrzymuje się dobre wyniki. Przyjęty na podstawie badań wstępnych czas napromieniowania podzielono na trzy wielkości — 16, 18 i 20 sekund. Po napromieniowaniu w ciągu określonego czasu próbkę zabierano z falowodu. Wykonano pomiary temperatury nagrzewania. Następnie wycinano z próbki strefę napromieniowania o wymiarach 45×60 mm. Wycięte ze strefy napromieniowania próbki poddano badaniom na następujące wskaźniki fizykomechaniczne: umowna granica wytrzymałości przy miejscowym zgniataniu w poprzek włókien oraz odporność na ścieranie. W celu oznaczenia umownej granicy wytrzymałości przy miejscowym zgniataniu próbkę zmodyfikowanego drewna o wymiarach $20 \times 5 \times 45$ mm (ostatni wymiar wzdłuż włókien) układano na płycie oporowej. Badania wykonywano pod stemplem z powierzchnią płaską o szerokości 10 mm (z zaokrągleniem krawędzi o pro-

mieniu 1,5 mm). Badania wykonano z zastosowaniem maszyny wytrzymałościowej typu IM-4A umożliwiającej zapis w układzie „siła-odkształcenie”.

Z wykresu wyznaczano siłę P_1 , po przekroczeniu której obserwuje się intensywniejszy wzrost odkształcenia, następnie wyliczano umowną granicę wytrzymałości przy zgniataniu miejscowym. Rysunek 4 obrazuje



Rys. 4. Zależność wielkości umownej granicy wytrzymałości przy zgniataniu miejscowym w poprzek włókien drewna zmodyfikowanego (a) i wielkości średniego zużycia (b) od czasu napromieniowania energią pola elektromagnetycznego bardzo wysokich częstotliwości

a — drewno zmodyfikowane, b — drewno naturalne

zmianę umownej granicy wytrzymałości przy zgniataniu miejscowym w poprzek włókien w zależności od czasu oddziaływania energii bardzo wysokiej częstotliwości. Na podstawie wykresu wnioskujemy, że najwyższa wielkość umownej granicy wytrzymałości przy zgniataniu miejscowym w poprzek włókien następuje w czasie oddziaływania energii wysokiej częstotliwości wynoszącej $\tau = 18$ s i przekracza analogiczny wskaźnik drewna naturalnego około 1,4 raza.

Jak wynika z rysunku 4 wielkość umownej granicy wytrzymałości przy zgniataniu miejscowym w poprzek włókien jest najwyższa, a ścieralność drewna zmodyfikowanego jest najmniejsza przy czasie oddziaływania energii wysokiej częstotliwości wynoszącej 18 sekund. Można uważać $\tau = 18$ s za optymalny czas oddziaływania energii wysokiej częstotliwości przy danych parametrach procesu technologicznego. Na podstawie oznaczonych właściwości fizykomechanicznych zmodyfikowanego drewna z zastosowaniem energii w. cz. można wnioskować o możliwości szybkiego i odpowiedniego utwardzania górnej impregnowanej warstwy deszczulek zmodyfikowanego parkietu.

Należy zaznaczyć, że przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie wniosku o celowości i skuteczności stosowania energii pola elektromagnetycznego bardzo wysokich częstotliwości w celu intensyfikacji procesów technologicznych utwardzania żywic syntetycznych przy modyfikacji drewna.

Г. Шутов

МОДИФИКАЦІЯ ДРЕВЕСИНЫ СИНТЕТИЧЕСКИМИ СМОЛАМИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ПОЛЯ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Резюме

Обсуждаются возможности использования электромагнитного поля высоких частот в технологическом процессе модификации древесины мономерами. Рассматриваются теоретические вопросы объемного диэлектрического нагрева. Приводятся результаты исследований по поведению мономеров в электромагнитном поле высокой частоты.

Определены технологические параметры модификации древесины в процессе поликонденсации смол и полимеризации мономеров при частоте $2375 \cdot 10^6$ Hz. Рассматриваются физические и механические свойства модифицированной древесины полученной при применении электромагнитного поля высоких частот. На базе теоретических и экспериментальных результатов формулируются заключения относительно целесообразности и эффективности применения электромагнитного поля высокой частоты для интенсификации технологического процесса модификации древесины синтетическими смолами.

G. Shutov

WOOD MODIFICATION WITH SYNTHETIC RESINS AT
UTILIZATION OF ENERGY OF THE ELECTROMAGNETIC
FIELD OF HIGH FREQUENCY

Summary

The possibility of application of the electromagnetic field of higher frequencies in the technological process of the wood modification with monomers is considered. Theoretical questions of the voluminal dielectric heating are discussed. The results of investigations on behaviour of monomers within the electromagnetic field of high frequency are presented.

Technological wood modification parameters in the process of polycondensation of resins and the polymerization of monomers at the frequency of $2375 \cdot 10^6$ Hz are determined. Physical and mechanical properties of the modified wood obtained at application of the electromagnetic field of higher frequencies are discussed. On the basis of theoretical and experimental results the conclusions concerning purposefulness and efficiency of application of the energy of the electromagnetic field of high frequency for intensification of the technological process of the wood modification with synthetic resins have been drawn.