

BADANIA NAD POŁĄCZENIAMI SZKIELETOWYCH KONSTRUKCJI
MEBLI Z DREWNA
CZEŚĆ II. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ PRZY PROJEKTOWANIU MEBLI¹

Stanisław Dziegielewski, Michał Zenktele

Instytut Mechanicznej Technologii Drewna
i Instytut Tworzyw Drzewnych Akademii Rolniczej w Poznaniu

Synopsis. Przeprowadzono analizę teoretyczno-doświadczalną naprężeń występujących w kątowych połączeniach meblowych i określono wpływ wytrzymałości spoin klejowych, konstrukcji złącza oraz sił tnących na wytrzymałość tych połączeń przy zginaniu siłami zmiennymi. Podano praktyczne zalecenia dla projektantów mebli.

WSTĘP

Konstrukcje meblowe, wykonywane przez długi czas sposobami rzemieślniczymi, charakteryzowały się dużymi nadmiarami w przekrojach poszczególnych elementów, co gwarantowało im wystarczającą wytrzymałość i trwałość, lecz równocześnie sprawiało, że meble te były stosunkowo ciężkie i materiałochłonne.

Meble nowoczesne, które produkuje się sposobami przemysłowymi, muszą odznaczać się lekkością, możliwie małym zużyciem materiałów, dużymi walorami estetycznymi oraz wystarczającą wytrzymałością i sztywnością. Spełnianie tych warunków wymaga przeprowadzania odpowiednich obliczeń przy projektowaniu konstrukcji. Ciągle jednak brak jeszcze odpowiednich metod dokonywania tych obliczeń.

Prawidłowe obliczenie wytrzymałości konstrukcji z drewna utrudnia wyjątkowo duża liczba różnorodnych czynników, wywierających istotny wpływ na tę wytrzymałość. Wymienić z nich należy przede wszystkim: zmienne fizyko-mechaniczne właściwości drewna, wady jego budowy anatomicznej, wymiary i kształty łączonych elementów, rodzaje zastosowanych połączeń i dokładność ich wykonania oraz

¹Praca została oparta na materiałach rozprawy doktorskiej pierwszego z autorów.

rodzaje obciążeń, na które dana konstrukcja może być narażona podczas jej użytkowania.

Zagadnienie jednoczesnego oddziaływania wszystkich tych czynników na wytrzymałość konstrukcji z drewna nie doczekało się dotychczas kompleksowego opracowania. Nawet w kwestii oddzielnego oddziaływania tych czynników istnieje jeszcze wiele niejasności i nieudomówień.

Dotychczas najszerzej zbadana została, rzutużąca na wytrzymałość konstrukcji, zależność wytrzymałości drewna od różnych czynników. Jednakże zarówno przy użytkowaniu mebli w praktyce, jak i przy badaniu ich wytrzymałości, można zaobserwować, że w około 80% przypadków zniszczeniu ulegają nie elementy konstrukcji, lecz ich połączenia [2,3]. A zatem mechaniczne właściwości drewna stanowią zagadnienie o mniejszej wadze dla rozpatrywanego tu problemu, a słabymi punktami konstrukcji są połączenia elementów. Należy dodać, że znajomość zależności wytrzymałości drewna od jego wilgotności, budowy anatomicznej, wymiarów obciążanych elementów, sposobu obciążania itd. umożliwi już obecnie odpowiednią selekcję i dobór elementów używanych w praktyce do wyrobu mebli.

Oczekując od konstrukcji meblowej dużej wytrzymałości i sztywności, trzeba od połączeń wymagać, ażeby charakteryzowały się wytrzymałością i sztywnością zbliżoną do wytrzymałości i sztywności łączonych elementów. Jeżeli w praktyce postulat ten tak często nie zostaje spełniony, to przyczyną jest tu niewątpliwie przyjmowanie przy projektowaniu mebli pewnych uproszczeń wynikających z braku dokładnej znajomości zjawisk zachodzących w połączeniach podczas ich obciążania.

Łączone elementy konstrukcji meblowych zostają uprzednio w odpowiedni sposób ukształtowane na przykład w postaci czopów i widlic lub gniazd, wpustów i wypustów, wczepów i gniazd wczepowych, pletw i pletwin itd. Zespolenie tak ukształtowanych powierzchni następuje potem pod wpływem wiążącego działania kleju. W związku z tym należy uświadomić sobie, że każde ukształtowanie przeznaczony do złączenia powierzchni elementu zmienia wymiary jego przekroju poprzecznego, a wpływ tego ukształtowania na wytrzymałość połączenia musi być rozpatrywany jako wpływ karbu. Efektem tego wpływu jest, jak wiadomo, powstawanie zwiększonych naprężeń miejscowych, prowadzących do obniżenia wytrzymałości materiału.

Innym momentem wpływającym na wytrzymałość klejonych złączy w meblach z drewna litego jest także najczęściej łączenie w nich elementów, że włókna drzewne na stykających się powierzchniach ułożone są w stosunku do siebie pod pewnym kątem. Uzyskane w ten sposób połączenia klejowe wykazują zawsze niższą wytrzymałość niż połączenia wzdlużne.

Bardzo istotna musi być również zależność wytrzymałości połączenia od dokładności jego wykonania i tym samym stopnia przylegania zespolonych powierzchni. Wpływa ona między innymi na grubość tworzącej się warstwy kleju i jej właściwości wytrzymałościowe.

Wytrzymałość i sztywność połączenia musi wreszcie w dużym stopniu zależeć od rodzaju użytego kleju. Poszczególne kleje tworzą bowiem po utwardzeniu ciała

stałe o różnej budowie wewnętrznej i w związku z tym o różniących się właściwościach mechanicznych.

Przy obliczaniu wytrzymałości połączeń meblowych uwzględnia się zwykle tylko naprężenia ścinające, jakie powstają w spoinie klejowej. Do określania tych naprężeń W. N. Michajłow w [4] jako pierwszy wykorzystał wzór de Saint-Venanta, który na przykład w przypadku złączy czopowych w połączeniach o przekroju prostokątnym, obciążanych na zginanie, będzie miał postać

$$\tau_{\max} = \frac{Mg}{2ab l^2} \text{ [kG/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

lub

$$Mg = \tau_{\max} 2ab l^2 \text{ [kGcm]} \quad (2)$$

gdzie

Mg — moment gnący w kGcm,²

b — szerokość czopa w cm,

l — długość czopa w cm,

a — współczynnik zależny od stosunku $b : l$,

τ_{\max} — wytrzymałość spoiny klejowej na ścinanie w kG/cm².

W literaturze spotyka się na ogół dane o wytrzymałości spoin klejowych, określone na próbkach znormalizowanych, o wzajemnie równoległym ułożeniu włókien w obu sklejonych elementach.

W związku ze wspomnianym już innym ułożeniem włókien drzewnych w elementach złącza powstaje zastrzeżenie co do możliwości stosowania tych danych w wyżej podanym wzorze. Dalsze wątpliwości budzi nieuwzględnienie wspomnianego już efektu karbu.

Trzeba również wskazać na to, że przy obciążaniu klejonych złączy czopowych, obok powstających w spoinach naprężeń ścinających o układzie równoległym do zarysu czopa (pokazanym na rysunku 1), pojawiają się także naprężenia ściskające (q_1 i q_2) w początkowej i końcowej części czopa oraz na powierzchni jego odsadzenia (rys. 2).

Do obliczania tych naprężeń W. N. Michajłow zaproponował następujące wzory

$$q_1 = \frac{6 Mg}{b^3 d} \text{ [kG/cm}^2\text{]} \quad (3)$$

$$dl^1 = \frac{b}{l}$$

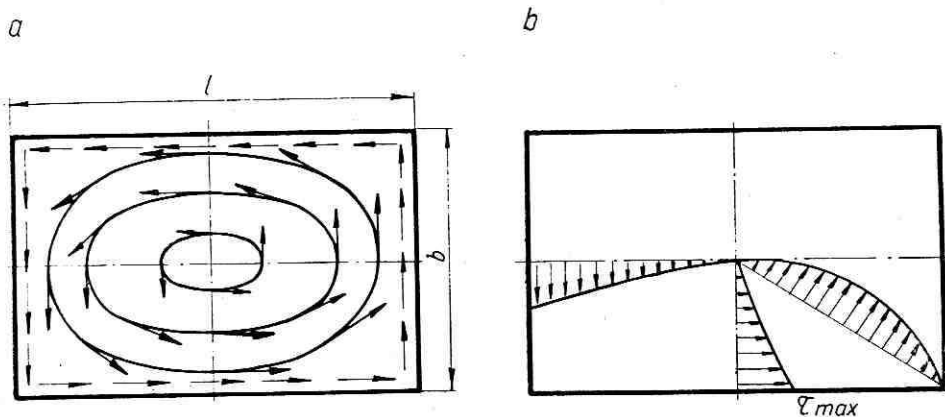
$$q_2 = q_1 \frac{b}{l} \text{ [kG/cm}^2\text{]} \quad (4)$$

gdzie

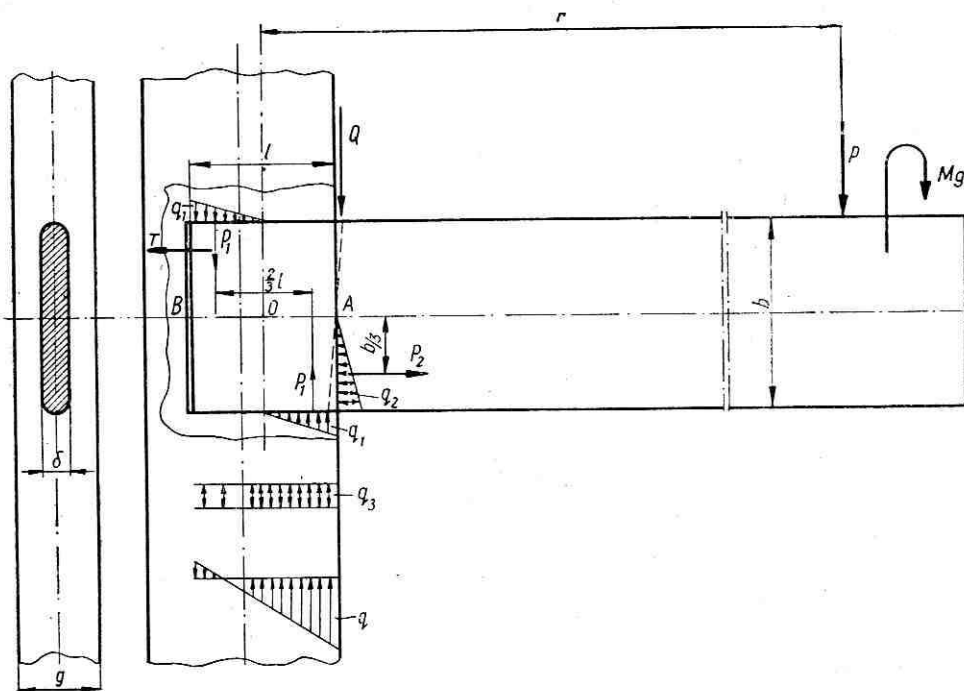
q_1 — naprężenia ściskające, powstające w początkowej i końcowej części czopa w kG/cm²,

² W klasycznym ujęciu w miejsce momentu gnącego należałoby przyjąć moment skrecający oporu stawianego przez połączenie działania momentu gnącego, wywołanego przez siłę zewnętrzną, obciążającą ramię połączenia. Ponieważ wartości tych momentów są jednakowe, wprowadzono do wzoru bezpośrednio moment gnący.

- q_2 — naprężenia ściskające powstające na powierzchniach odsadzenia czopa w kG/cm^2 ,
 Mg — moment gnący określony dla połączenia o złączu niesklejonym w kGcm ,
 d — grubość czopa w cm ,
 b — szerokość czopa w cm ,
 l — długość czopa w cm .



Rys. 1. Schemat rozkładu naprężeń w obciążonym na skręcanie połączeniu czopowym o przekroju prostokątnym: *a* — rozkład naprężeń, *b* — średnie naprężenie maksymalne (wg M. M. Bielajewa)



Rys. 2. Schemat rozkładu naprężeń ściskających w złączu czopowym krytym przy jego obciążeniu na zginanie (sporządzono na podstawie schematów W. N. Michajłowa)

Wpływ tych naprężeń na wytrzymałość połączenia w sklejonym złączu musi być jednak różny w zależności od stosunku modułu sprężystości spoiny klejowej do modułu sprężystości drewna. Musi on objawiać się niewątpliwie w tym większym stopniu, im większa jest odkształcalność spoiny klejowej. O zachowaniu się poszczególnych klejów pod tym względem nie można było jednak znaleźć w dostępnej literaturze jakichkolwiek danych.

Nie można wreszcie pominąć faktu, że w przypadku złączy czopowych, łączących elementy poddawane sile zginającej (rys. 2), w spoinie klejowej powstają obok naprężeń stycznych, wywoływanych działaniem momentu gnącego i układających się równolegle do zarysu czopa (rys. 1), również naprężenia styczne, działające w rozpatrywanym tu przypadku prostopadle do poprzednich i wywoływane działaniem siły tnącej (Q). W związku z tym maksymalne naprężenie ścinające jest wypadkową obu wspomnianych naprężeń stycznych

$$\tau_{\max} = \sqrt{\tau_m^2 + \tau_t^2} \quad [\text{kG/cm}^2] \quad (5)$$

gdzie

τ_m — naprężenie styczne wywołane momentem gnącym w kG/cm^2 ,

τ_t — naprężenie styczne wywołane siłą tnącą w kG/cm^2 .

Ponieważ dotychczas brak jest metody określania wielkości naprężeń stycznych, wywoływanych działaniem siły tnącej, przeto w obliczeniach konstrukcji meblowych naprężenia te bywają pomijane. Określenie ich wielkości mogłoby jednak wyjaśnić, czy dotychczasowe postępowanie jest słuszne.

1. CEL PRACY

Autorzy podjęli próbę wyjaśnienia następujących zagadnień związanych z obliczaniem wytrzymałości niektórych połączeń meblowych:

1) wytrzymałość spoiny klejowej zawartej pomiędzy powierzchniami elementów złącza;

2) wielkość naprężeń ściskających, powstających w złączu kątowym, obciążonym momentem gnącym;

3) wielkość naprężeń stycznych, powstających w spoinie pod działaniem siły tnącej przy obciążaniu połączenia kąowego momentem gnącym.

Pośrednim celem badań było uzyskanie brakujących dotychczas danych, które mogłyby ułatwić projektowanie szkieletowych konstrukcji meblowych.

2. OPIS PRZEPROWADZONYCH DOŚWIADCZEŃ I ICH WYNIKI

2.1. OKREŚLENIE WYTRZYMAŁOŚCI SPOINY KLEJOWEJ ZAWARTEJ POMIĘDZY POWIERZCHNIAMI ELEMENTÓW ZŁĄCZA

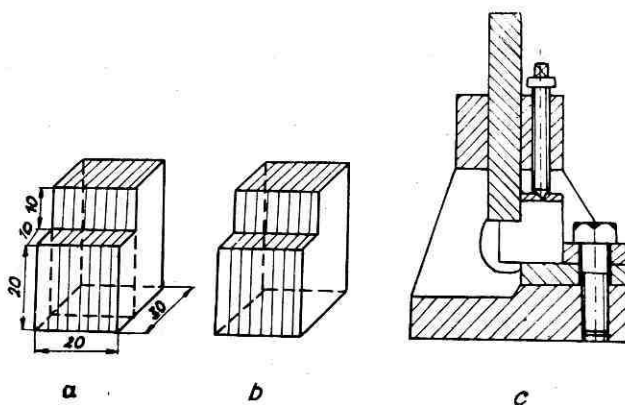
Do wykonania elementów doświadczalnych użyto suchych fryzów bukowych, wybranych w zakładzie przemysłowym. Z fryzów tych wycięto następnie listwy, których grubość po obustronnym ostruganiu wynosiła 18 mm. Listwy zostały następnie pocięte na 60 elementów o wymiarach $18 \times 40 \times 250$ mm i 60 o wymiarach

18×40×150 mm. Na jednym końcu każdego z dłuższych elementów wycięto za pomocą czopiarki obwiedniowej czop o zaokrąglonych bokach. Natomiast w każdym z krótszych elementów wycięto przy użyciu frezarko-wiertarki oscylacyjnej odpowiednie gniazdo. Wymiary czopów i gniazd tak dobierano, ażeby połowa uzyskanych później złączy wykazywała pasowanie lekko wciskane, a reszta — wciskane (według normy GOST 6559).

Z przygotowanych w ten sposób 120 elementów utworzono następnie 60 zestawów składających się z jednego elementu z czopem i jednego z gniazdem. Z kolei po 20 zestawów sklejało klejami: glutynowym, polioctanowinyłowym lub mocznikowym, uzyskując połączenia czopowe kryte, przedstawione w I części na rysunku 1b.

Z tego samego materiału drzewnego przygotowano również listwy do wykonania elementów dwuwarstwowych, sklejonych wspomnianymi trzema klejami. Połowa elementów dwuwarstwowych została sklejana przy skrzyżowaniu włókien drzewnych w obu warstwach, w pozostałych zaś elementach włókna te przebiegały równolegle.

Po 1-miesięcznym okresie sezonowania z połączeń kątowych i z elementów dwuwarstwowych wycięto próbki wytrzymałościowe o kształcie podanym w normie PN-59/D-04105 na badanie wytrzymałości drewna litego w ścinaniu (rys. 3). Próbki te, ze względu na małe wymiary, stwarzały możliwość łatwego ich wycinania z połączeń czopowych. W związku z niewielką grubością czopów i ścian gniazd (6 mm) grubość próbek pobranych z połączeń kątowych była mniejsza od podanej na rysunku 3, co jednak przy zastosowanym sposobie obciążania nie wywiera żadnego wpływu na wynik.



Rys. 3. Kształt i wymiary próbek użytych do badania wytrzymałości na ścinanie: *a* — spoiny klejowe (w przypadku próbek wyciętych ze złączy czopowych grubość próbek wynosiła 18 mm), *b* — drewna litego oraz sposób obciążania próbek, *c* — próbka w przyrządzie

Badanie wytrzymałości próbek na ścinanie przeprowadzono przy użyciu 10-tonowej maszyny probierczej typu Schopper przy zakresie obciążeń do 2 T, dokładności odczytu siły do 2,5 kG i prędkości swobodnego posuwu głowicy 10 mm/minutę.

Na podstawie tabeli 1, w której podano wyniki tych badań, można stwierdzić, że spoiny klejowe uformowane pomiędzy powierzchniami elementów złącza czopo-

wego wykazują znacznie niższą wytrzymałość aniżeli spoiny utworzone w specjalnie sklejonych elementach dwuwarstwowych.

Tabela 1

Porównanie wytrzymałości spoin klejowych w czopowych połączeniach kątowych z wytrzymałością spoin klejowych w elementach dwuwarstwowych

Sposób przygotowania próbek	Średnia wytrzymałość dla 20 próbek							
	z drewna sklejonego						z drewna litego	
	rodzaj kleju							
	polioctano- winylowy		mocznikowy		glutynowy			
<i>Rt</i>	<i>v</i>	<i>Rt</i>	<i>v</i>	<i>Rt</i>	<i>v</i>	<i>Rt</i>	<i>v</i>	
kG/cm ²	%	kG/cm ²	%	kG/cm ²	%	kG/cm ²	%	
Wycięte z połączeń lekkowciskany	72	15	73	21	68	21	—	—
czopowych o pa- sowaniu								
wciskanym	85	14	78	18	76	22	—	—
Wycięte z elemen- skrzyżowanym	112	15	93	11	97	15	—	—
tów dwuwarstwo- wych o układzie równoległym	221	8	192	14	154	33	225	7
włókien								

W przypadku gdy włókna drzewne w elementach dwuwarstwowych były ułożone równolegle, wytrzymałość spoiny była 2-3-krotnie wyższa niż wytrzymałość spoiny w złączach.

Sklejenie elementów dwuwarstwowych przy skrzyżowanym układzie włókien, a więc w sposób zbliżony do układu włókien w złączach, zmniejszyło znacznie te różnice. Jednakże wytrzymałość spoin w tych elementach była jeszcze o 20-35% wyższa niż spoin w złączach.

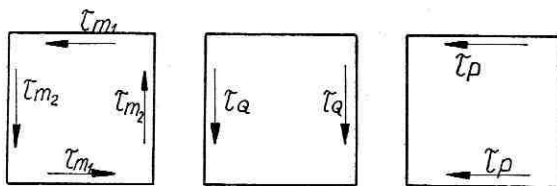
Wyniki te świadczą o zupełnie innych warunkach kształtowania się spoin klejowych pomiędzy ścianami gniazda i wciskanego w nie czopa aniżeli pomiędzy dwiema nakładanymi na siebie deszczułkami. Stwierdzenie to stanowi ważną wskazówkę dla projektantów konstrukcji meblowych, którzy opierali dotąd swe obliczenia na wytrzymałości spoin klejowych, określanej za pomocą znormalizowanych próbek wytrzymałościowych o równoległym układzie włókien.

2.2. OKREŚLENIE WIELKOŚCI NAPRĘŻEŃ STYCZNYCH POWSTAJĄCYCH W SPOINIE POD DZIAŁANIEM SIŁY TNĄCEJ PRZY OBCIĄŻENIU POŁĄCZENIA KĄTOWEGO MOMENTEM GNĄCYM

W przypadku złączy kątowych, poddawanych działaniu sił zginających, wytrzymałość spoin klejowych jest wypadkową naprężeń ścinających, pochodzących od momentu gnącego, i naprężeń ścinających, pochodzących od sił tnących. Wielkość naprężeń wywoływanych w omawianym przypadku przez siły tnące była dotychczas nie znana.

Jak z przedstawionego na rysunku 4 schematu wynika, na obciążane połączenie działają siły tnące pionowe (*Q*) i poziome (*P*). Rozkład naprężeń wywoływanych działaniem tych sił był również dotychczas nie znany.

Rozpatrując zagadnienie działania pionowej siły tnącej, można — zakładając niewielkie wymiary czopa ($l \times b$) — oprzeć się na hipotezie o równomiernym rozkładzie naprężeń. W takim przypadku wpływ omawianej siły można wyrazić wzorem



Rys. 4. Schemat geometrycznych kierunków naprężeń, wywoływanych przez moment ściskający węzeł (τ_{m_1}), moment rozciągający węzeł (τ_{m_2}), pionową siłę tnącą (τ_Q) i poziomą siłę tnącą (τ_P)

$$\tau_Q = \frac{Q}{2bl} \text{ [kG/cm}^2\text{]} \quad (6)$$

Podobnie będzie się kształtował wpływ poziomej siły tnącej:

$$\tau_P = \frac{P}{2bl} \text{ [kG/cm}^2\text{]} \quad (7)$$

W celu określenia łącznego wpływu na wytrzymałość połączenia momentu gnącego oraz pionowej i poziomej siły tnącej należy geometrycznie określić kierunki działania wywoływanych naprężeń w sposób schematyczny, przedstawiony na rysunku 4.

Wspomniany łączny wpływ momentu gnącego i sił tnących można obliczyć w następujący sposób

$$\begin{aligned} (x) &= (\tau_{m_1}) + (\tau_Q) + (\tau_P) = \frac{M}{2ab^2l} + \frac{Q}{2bl} + \frac{P}{2bl} = \\ &= \frac{M}{2ab^2l} \left(1 + \frac{Q}{M} ab + \frac{P}{M} ab \right). \end{aligned}$$

Po oznaczeniu $\frac{M}{Q} = e_1$, $\frac{M}{P} = e_2$ oraz gdy $l = b$ i gdy w związku z tym $a = 0,220$ wówczas

$$(x) = \frac{M}{2ab^3} \left(1 + \frac{b}{e_1} 0,220 + \frac{b}{e_2} 0,220 \right).$$

Rozpatrując przedstawiony na rysunku 4 wyodrębniony węzeł można założyć, że:

$$e_1 = e_2 = l_1 \quad \text{oraz} \quad \frac{b}{e_1} = \frac{b}{e_2} = \frac{b}{a} \sim \frac{1}{4},$$

$$\text{wówczas } (x) = \frac{M}{2ab^3} (1 + 0,052 + 0,052).$$

Stosunek wartości ujętych w nawiasach, przedstawiających wpływ sił tnących, do wartości przed nawiasem, przedstawiającej wpływ momentu gnącego, wynosi 5-10%, zależnie od stosunku długości czopa l do długości ramienia gnącego L .

W celu sprawdzenia słuszności tych obliczeń przeprowadzono następujące doświadczenia.

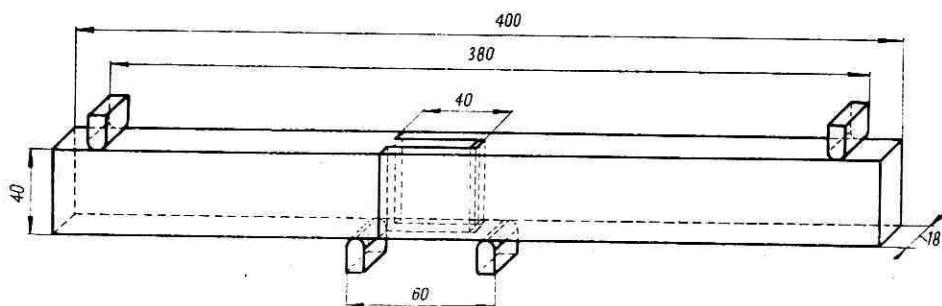
Przedstawiony na rysunku 2 sposób obciążania połączeń kątowych zbliża je do belki jednostronnie podpartej, poddanej działaniu siły skupionej. Porównanie zatem wytrzymałości połączenia kąтового z wytrzymałością połączenia wzdluznego, zawierającego takie same złącze, lecz wolne od wpływu rozpatrywanej tu siły tnącej, mogło dostarczyć danych o wielkości wywoływanych przez tę siłę naprężeń stycznych.

Nie można przy tym jednak pominąć faktu, iż oba rodzaje połączeń różnią się układem włókien drzewnych w połączonych elementach. Różnica ta może wzbudzać pewne wątpliwości co do słuszności poczynionego założenia, a mianowicie, czy stwierdzone w podany sposób różnice wytrzymałości można odnieść w całości do działania naprężeń pochodzących od siły tnącej, czy też częściowo należy przypisać je wpływom wspomnianej różnicy w układzie włókien drzewnych.

Uwzględniając to wykonano dwa rodzaje doświadczeń, z których drugie miało na celu sprawdzenie słuszności przyjętego założenia przez wyeliminowanie wpływu różnego układu włókien.

2.2.1. Określenie wielkości naprężeń przez porównanie wytrzymałości połączeń w elementach kątowych i wzdluznych, zawierających złącza widlicowe

Do badań użyto obok widlicowych złączy kątowych (schematycznie przedstawionych w I części pracy na rys. 1a), również elementów prostych (rys. 5), zawierających



Rys. 5. Schemat obciążania elementu doświadczalnego, użytego do określenia wielkości naprężeń stycznych, powstających w spoinie klejowej przy obciążaniu siłami zginającymi

jących złącza widlicowe. Dobierając dla elementów kątowych długość obciążanego ramienia zdawano sobie sprawę z tego, że wielkość naprężeń stycznych, pochodzących od siły tnącej, musi być zależna od tej długości. Im dłuższe będzie ramię, tym wpływ siły tnącej będzie mniejszy. Wobec nieznalesienia w dostępnej literaturze danych na ten temat, które można by było odnieść do konstrukcji mebli szkieleto-

wych, badanym elementom nadano długość ramienia odpowiadającą połowie długości przeciętnego elementu podzespołu ramowego krzesła.

Elementy doświadczalne wykonano z takiego samego materiału, jak w doświadczeniu poprzednim. Listwy grubości 18 mm i szerokości 40 mm pocięto na 30 odcinków długości 150 mm, 60 — długości 220 mm i 30 — długości 250 mm. Odcinki długości 150 mm i połowę odcinków długości 220 mm zaopatrzone przy użyciu czopiarki na jednym końcu w widlicę pojedynczą. Natomiast na jednym z końców odcinków długości 250 mm oraz połowy odcinków długości 220 mm wycięto czop.

Z odcinków długości 150 i 250 mm utworzono 30 zestawów przeznaczonych do sklejenia w połączenia kątowe. Odcinki długości 220 mm posłużyły do wykonania 30 połączeń wzdłużnych.

Po 10 złączy kątowych i po 10 złączy wzdłużnych sklemano następnie klejami: glutynowym, mocznikowym lub poliocetanowinylowym.

Po sklejeniu wszystkie elementy sezonowano przez 1 miesiąc w warunkach pracowni, a następnie poddano je badaniom wytrzymałościowym.

W celu uzyskania wyraźniejszego zróżnicowania wyników (dla obu rodzajów połączeń) wszystkie elementy poddano wstępnie w prototypowym urządzeniu (rys. 5 w I części pracy) działaniu 800 cykli jednostronnie zmiennych obciążeń zginających, które wynosiły każdorazowo 1120 kGcm i przykładane były z niewielką częstotliwością 27 cykli na minutę. Dopiero po tym wstępnym działaniu określono doraźną wytrzymałość połączeń przy użyciu 10-tonowej maszyny probierczej typu Schopper (przy zakresie do 2 T, dokładności odczytu siły do 2,5 kG i prędkości swobodnego posuwu głowicy 10 mm/min), obciążając je siłami zginającymi (w sposób podany na rys. 4 oraz na rys. 6 w I części pracy).

Przedstawione w tabeli 2 wyniki tych doświadczeń, obliczone za pomocą wzoru de Saint-Venanta [1], wskazują na niewielki wpływ naprężeń stycznych, pocho-

Tabela 2

Porównanie wytrzymałości widlicowych połączeń kątowych z wytrzymałością widlicowych połączeń wzdłużnych w celu określenia wpływu na tę wytrzymałość naprężeń stycznych wywołanych siłą tnącą

Rodzaj połączenia	Rodzaj kleju		
	glutynowy	poliocetanowinylowy	mocznikowy
	średnia (dla 10 próbek) wytrzymałość na zginanie statyczne w kG/cm ²		
Wzdłużne (obciążane tylko momentem gnącym)	98	96	78
Kątowe (obciążane momentem gnącym i siłą tnącą)	96	90	76
Wytrzymałość połączeń kątowych wyrażona w % wytrzymałości połączeń wzdłużnych	98	94	97

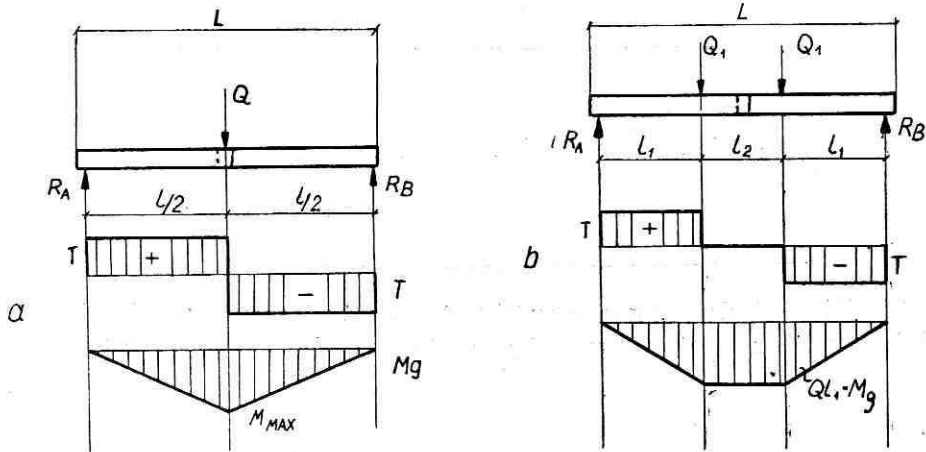
dających od siły tnącej, na wytrzymałość połączeń kątowych. Wytrzymałość tych połączeń jest bowiem nieznacznie tylko mniejsza (o 2-6%) od wytrzymałości połączeń wzdłużnych, w których naprężenia te nie występują.

Wypływa stąd wniosek, że w przypadku działania siły gnącej na stosunkowo długie ramię połączenia (charakterystyczne dla ramowych konstrukcji meblowych) wpływ siły tnącej jest tak mały, że nie zachodzi potrzeba uwzględniania go w obliczeniach.

2.2.2. Określenie wielkości naprężeń przez porównanie wytrzymałości połączeń w elementach wydłużonych zawierających złącza zakładkowe i obciążanych w różny sposób

Wobec wspomnianej już możliwości wpływu na wynik badań różnego układu włókien w porównywanych ze sobą w poprzednim doświadczeniu połączeniach, doświadczenia przeprowadzono wyłącznie na elementach wydłużonych.

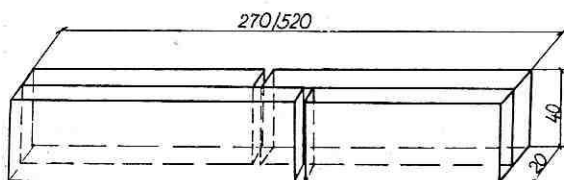
Różny sposób obciążania tych elementów, schematycznie przedstawiony na rysunku 6, zapewniał powstawanie w obrębie połączenia naprężeń stycznych, pochodzących w jednym przypadku od momentu gnącego i siły tnącej, w drugim zaś — tylko od momentu gnącego.



Rys. 6. Schemat obciążania próbek w celu wywołania w spoinie klejowej naprężeń stycznych działaniem: a — momentu gnącego i siły tnącej, b — momentu gnącego

Do badań użyto 40 próbek o wymiarach $20 \times 40 \times 270$ mm i 40 próbek o wymiarach $20 \times 40 \times 520$ mm. Zróżnicowanie wymiaru długości miało umożliwić zastosowanie dwóch różnych odległości pomiędzy podporami w celu określenia wpływu długości ramienia gnącego na wielkość naprężenia wywoływanego przez siłę tnącą.

Każda z próbek składała się z dwóch elementów połączonych w partii środkowej za pomocą złącza zakładkowego, sklejonego klejem poliocetanowinylowym (rys. 7). Próbki zginano statycznie w 10-tonowej maszynie probierczej typu Schopper, stosując parametry podane w 2.2.1.



Rys. 7. Kształt i wymiary próbek użytych do badania wpływu naprężeń stycznych, pochodzących od sił tnących, na wytrzymałość połączenia

Tabela 3

Wytrzymałość statystyczna połączeń o złączach zakładkowych, sklejonych klejem polioctanowinylowym, określona przy różnym sposobie obciążania i przy różnym rozstawie podpór

Rozstaw podpór w cm	Sposób obciążania	Wytrzymałość τ w kg/cm^2	Współczynnik zmienności v w %
25		129	8
		98	9
49		126	7
		128	7

Wyniki tych badań, zestawione w tabeli 3, są zgodne z teoretycznymi obliczeniami i wielkości udziału naprężeń stycznych pochodzących od sił tnących w wytrzymałości połączenia.

2.3. OKREŚLENIE WIELKOŚCI NAPRĘŻEŃ ŚCISKAJĄCYCH POWSTAJĄCYCH W ZŁĄCZU KĄTOWYM OBCIĄŻONYM MOMENTEM GNĄCYM

Do określenia wielkości naprężeń ściskających, powstających w przedstawionym na rysunku 2 przypadku obciążania czopowego połączenia kąтового, używane są wzory przytoczone we wstępie (3) i (4).

W celu sprawdzenia praktycznej przydatności tych wzorów podjęto próbę określenia wpływu omawianych naprężeń na wytrzymałość połączenia przez porównanie wytrzymałości całego połączenia z wytrzymałością zawartej w nim spoiny klejowej. Różnicę bowiem pomiędzy tymi wartościami można by przypisać działaniu naprężeń ściskających.

W tym celu przygotowano elementy doświadczalne w liczbie 60, z których wykonano czopowe połączenia kątowe (rys. 1b w I części pracy) w taki sam sposób,

jak w doświadczeniach opisanych w punkcie 2.1. Połowa z tych elementów zawierała złącza lekko wciskane, a reszta wciskane. Po 20 elementów sklejono klejami: glutynowym, moczniowym lub poliocetanowinylovym.

Po 1-miesięcznym okresie sezonowania elementy te umieszczono w przystosowanej do tego celu podporze (w sposób podany na rys. 6 w I części pracy). Z kolei stosując opisane poprzednio warunki badania działano siłą zginającą na swobodne ramię elementu aż do zniszczenia połączenia, a następnie obliczano jego wytrzymałość za pomocą wzoru de Saint-Venanta [1].

Uzyskane w ten sposób wartości porównano w tabeli 4 z wartościami, jakie otrzymano w doświadczeniu opisanym w punkcie 2.1 przy badaniu wytrzymałości spoin klejowych zawartych w złączach. Wykazane w tej tabeli duże różnice pomiędzy wytrzymałością całych połączeń a wytrzymałością samych tylko spoin klejowych, wynoszące 50-60%, wskazują na znaczny udział naprężeń ściskających w wytrzymałości połączenia czopowego. Nie można tu jednak pominąć również możliwości wpływu na wynik różnych warunków ścinania spoin w obu przypadkach.

Tabela 4

Porównanie wytrzymałości czopowych połączeń kątowych obciążonych momentem gnącym z wytrzymałością zawartych w tych połączeniach spoin klejowych

Rodzaj pasowania	Rodzaj kleju	Średnia (dla 10 próbek) wytrzymałość połączenia ^a	Średnia (dla 10 próbek) wytrzymałość spoiny klejowej	Różnica między wytrzymałością połączenia i spoiny klejowej ^b	
		τ_{max} kG/cm ²	τ_s kG/cm ²	kG/cm ²	%
Lekko wciskane	polioctanowinylovym	159±25	72±11	87	55
	moczniowy	165±19	73±15	92	56
	glutynowy	179±13	68±14	111	62
Wciskane	polioctanowinylovym	167±14	85±12	82	49
	moczniowy	178±20	78±14	100	65
	glutynowy	185±19	76±17	109	59

^a Obliczona według wzoru de Saint-Venanta.

^b Spowodowana przypuszczalnie wpływem naprężeń ściskających.

Wyraźny wpływ naprężeń ściskających na wytrzymałość połączenia można także stwierdzić porównując, na podstawie tabeli 5, wytrzymałość zbadanych tu połączeń o złączach czopowych z określoną w poprzednim doświadczeniu wytrzymałością połączeń o złączach widlicowych. Wytrzymałość tych ostatnich, niższa około 45%, może być tłumaczona właśnie brakiem występowania w nich znaczniejszych naprężeń ściskających.

O wpływie naprężeń ściskających na wytrzymałość połączenia można również wnioskować z wytrzymałości połączenia złożonego z elementów nie sklejonych z sobą.

Tabela 5

Porównanie wytrzymałości połączeń kątowych zawierających różne złącza i obciążonych momentem gnącym

Rodzaj kleju	Rodzaj złącza				
	czopowe			widlicowe	
	lekko wciskane	wciskane	średnio	w %	
wytrzymałość w kG/cm ²					
Poliocetano winylowy	159	167	163	94	58
Mocznikowy	165	178	172	98	57
Glutynowy	179	185	182	99	54

W tym celu przygotowano w opisany już sposób 20 czopowych połączeń kątowych o pasowaniu lekko wciskany i 20 o pasowaniu wciskany. Połączenia te składano bez użycia kleju, wciskając czopy w gniazda za pomocą maszyny probierczej, a następnie złożone połączenia obciążano aż do zniszczenia. Wyniki tych oznaczeń podano w tabeli 6. Z umieszczonych we wspomnianej tabeli wartości momentów gnących wyliczono za pomocą wzorów (3) i (4) wielkości naprężeń ściskających. Jednakże uzyskane z tych obliczeń wartości, wynoszące dla naprężeń na krawędziach czopa 273 i 357 kG/cm² (w przypadkach pasowania lekko wciskanego i wciskanego), a dla naprężeń występujących na powierzchni odsadzenia czopa 361 i 464 kG/cm², uznać należy (w porównaniu z tabelą 4) za zbyt wysokie.

Tabela 6

Charakterystyka czopowych złączy kątowych złożonych bez użycia kleju

Rodzaj pasowania	Średnia (dla 20 próbek) siła potrzebna do wciśnięcia czopa w gniazdo w kG	Średnia siła niszcząca połączenia w kG	Średni moment gnący w kGcm
Lekko wciskane	207±17	68±8	747
Wciskane	396±38	90±10	990

Średnie siły niszczące połączenia sklejone zawierały się w granicach 176—212 kG, a średnie momenty gnące w granicach 2014—2438 kGcm.

Na podstawie tabeli 4 można poczynić jeszcze jedno spostrzeżenie. Klej poliocetanowinylowy, który wykazał najwyższą wytrzymałość spoiny klejowej, dał połączenia o najniższej wytrzymałości. I odwrotnie, klej glutynowy, którego spoina okazała się najmniej wytrzymała, dał połączenia najbardziej wytrzymałe. W związku z tym nasuwa się przypuszczenie, że właśnie w przypadku najsłabszej, lecz stosunkowo najbardziej elastycznej spoiny klejowej wpływ naprężeń ściskających może objawiać się w największym stopniu.

Z poczynionych rozważań wyciągnąć można wniosek, że przy obliczaniu konstrukcji meblowych konieczne jest, w zależności od rodzaju złączy, uwzględnianie

lub pomijanie naprężeń ściskających. Należy przy tym również brać pod uwagę wpływ rodzaju kleju na wielkość tych naprężeń.

3. WNIOSKI

Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń sformułować można następujące wnioski.

1. Przy obliczaniu wytrzymałości kątowych połączeń meblowych za pomocą wzoru de Saint-Venanta nie można opierać się na wytrzymałości spoin klejowych, określanej na próbkach znormalizowanych. Wytrzymałość bowiem spoin klejowych, utworzonych pomiędzy powierzchniami elementów złączy czopowych, osiągnęła jedynie około 30-50% wytrzymałości spoin w próbkach znormalizowanych. Celowe jest zatem określanie wytrzymałości spoin klejowych na próbkach wycinanych ze specjalnie przygotowanych połączeń kątowych.

2. W niektórych rodzajach kątowych połączeń meblowych, na przykład w połączeniach o złączach czopowych krytych, występują przy ich obciążaniu momentem gnącym naprężenia ściskające, które mogą zwiększyć wytrzymałość połączenia prawie o 80% w stosunku do innych połączeń, na przykład o złączach widlicowych. Zaproponowane przez W. N. Michajłowa wzory do obliczania tych naprężeń dają wartości zbyt wysokie.

3. Przy obliczaniu wytrzymałości kątowych połączeń meblowych, obciążanych momentem gnącym, nie zachodzi potrzeba uwzględniania powstającej przy tym siły tnącej. Przy działaniu bowiem siły gnącej na stosunkowo długie ramię połączenia, charakterystyczne dla ramowych konstrukcji meblowych, wpływ siły tnącej na wytrzymałość połączenia jest znikomo mały.

LITERATURA

1. Bielajew M.M.: Wytrzymałość materiałów. Warszawa 1956.
2. Fidyk S.: Badania nad wpływem obciążeń dynamicznych na wytrzymałość spoin klejowych w niektórych połączeniach meblarskich. Warszawa 1961 (Dokumentacja ITD nr DK 467).
3. Fidyk S.: Użytkowa wytrzymałość spoiny klejowej w połączeniach drewna. „Przemysł Drzewny” 1962, nr 1, s. 17.
4. Michajłow W.N.: Stolarno-miechaniczeskije proizwodstwa. Moskwa—Leningrad 1951

Streszczenie

Stawiany nowoczesnym meblom warunek wystarczającej wytrzymałości i sztywności przy małym zużyciu materiałów wymaga przeprowadzenia odpowiednich obliczeń przy projektowaniu tych konstrukcji.

W stosowanych obecnie sposobach obliczania wytrzymałości kątowych złączy drewnianych mebli szkieletowych istnieje jeszcze wiele niejasności. Nie znana była dotychczas na przykład: 1) rzeczywista wytrzymałość spoin klejowych w złączach, 2) wielkość naprężeń stycznych pochodzących od siły ścinającej, powstającej przy obciążaniu złączy kątowych momentem gnącym, 3) wielkość naprężeń ściskających, powstających przy obciążaniu złączy kątowych momentem gnącym.

W celu wyjaśnienia pierwszego problemu porównano wytrzymałość spoin klejowych w próbkach blokowych, wyciętych ze złączy czopowych, z wytrzymałością spoin w takich samych próbkach wyciętych ze specjalnie sklejonych tymi samymi klejami elementów dwuwarstwowych. Wytrzymałość spoin w złączach osiągnęła tylko 30-50% wytrzymałości spoin w elementach dwuwarstwowych.

W celu wyjaśnienia drugiego problemu porównano wytrzymałość elementów kątowych z wytrzymałością elementów wzdluznych, zawierających takie same złącza widlicowe, lecz wolne od działania siły tnącej. Stwierdzono niewielkie różnice, z czego wyciągnięto wniosek, że w przypadku działania siły gnącej na stosunkowo długie ramię połączenia, charakterystyczne dla ramowych konstrukcji meblowych, nie potrzeba uwzględniać w obliczeniach, wpływu siły tnącej.

W celu wyjaśnienia trzeciego problemu porównano wytrzymałość całych czopowych połączeń kątowych z wytrzymałością zawartych w nich spoin klejowych. Różnice wynoszące 50—60% przypisano dodatniemu wpływowi naprężeń ściskających. W połączeniach widlicowych różnice te były bardzo małe, co świadczy o niewielkim wpływie naprężeń ściskających na wytrzymałość tych połączeń.

Станислав Дзэнгелевски, Михал Зенктелиер

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЕРЕВЯННОЙ МЕБЕЛИ

Ч. II. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕБЕЛИ

Краткое содержание

Условие обладания требуемой прочностью и жесткостью одновременно со сбережением материала, предъявляемое современной мебели, связано с необходимостью соответствующего расчета при проектировании ее конструкции.

Методы расчета прочности угловых соединений деревянной каркасной мебели, применяемые в настоящее время, страдают целым рядом неясностей. Так, например, неизвестны были

- 1) действительная прочность клеевых швов в соединениях,
- 2) величина касательных напряжений, возбуждаемых действием скальвающей силы, возникающей при нагрузке углового соединения изгибающим моментом,
- 3) величина вызываемых той же нагрузкой сжимающих напряжений.

Для выяснения первого вопроса было проведено сравнение прочности клеевых швов выпиленных из шиповых соединений блоковых образцов — с прочностью швов таких же образцов, выпиленных из двухслойных деталей, специально склеенных с применением тех же самых клеев. При этом было обнаружено, что прочность швов угловых соединений составляет только лишь 30—50% прочности швов двухслойных деталей.

Ответ на второй вопрос был получен в результате сравнения прочности угловых деталей с прочностью деталей продольных с аналогичными соединениями на одинарный открытый шип, по не подвергающихся нагрузке скальвающей силы. Разница оказалась незначительной, из чего можно сделать вывод, что в случае нагрузки изгибающей силой, прилагаемой к относительно длинному рычагу соединения — это является характерной чертой рамочных мебельных конструкций — можно при расчетах пренебречь силой скальвания.

Третий вопрос был выяснен путем сравнения прочности угловых соединений, как целого, с прочностью входящих в их состав клеевых швов. Различия, составляющие 50—60%, рассматривались как результат положительного влияния сжимающих напряжений. В соединениях на одинарный открытый шип эти различия очень невелики, что свидетельствует о незначительности влияния, оказываемого на этот тип соединения сжимающими напряжениями.

Stanisław Dziągiewski, Michał Zenktele

INVESTIGATIONS ON JOINTS IN CARCASS FURNITURE CONSTRUCTIONS OF WOOD
PART II. ANALYSIS OF JOINT STRENGTH FOR DESIGNING PURPOSES

S u m m a r y

Requirements imposed on modern furniture concerning adequate strength and rigidity with most economic use of material, make it necessary to carry out proper calculations in designing furniture angle joints. Not much is known, for example, about:

- 1) real glue line strength in joints,
- 2) amount of tangential stresses due to shearing force occurring when angle joints are subjected to bending moments,
- 3) value of compressive stresses occurring in angle joints loaded with bending moment.

In order to elucidate the first of mentioned problems, the glue line strength in block samples cut out from stop housed joints was compared with glue line strength in similar samples cut out from special two-layer constructions glued with the same adhesive. Glue line strength of joints attained only 30—50% of glue line strength of two-layer constructions.

To explain the second problem, the strength of angle joints was compared with the strength of end forked joints free from the action of shearing force. Insignificant differences were found and this led to conclusion that in case of the action of bending forces on relatively long arm of the joint, characteristic for furniture frame structures, the effect of shearing force can be safely disregarded in calculating.

Relating the third problem, the strength of whole tenon angle joints was compared with the strength of involved glue line strength. Differences amounting to 50—60% were attributed to the positive effect of compressive stresses. In forked joints these differences were insignificant, which is proving that the effect of compressive stresses on the strength of these joints is of little importance

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 11 II 1972