



Project number 2020-1-PL01-KA202-081820

IO3 - Zestaw materiałów edukacyjnych dla kursu szkoleniowego EDTT

Status dokumentu		
Wersja	Data	Opis
1	Grudzień-2022	<i>Wersja robocza - propozycja wstępna</i>
2	Styczeń-2023	<i>Wersja robocza - do weryfikacji</i>
3	Maj-2023	<i>Wersja końcowa</i>



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Projekt został zrealizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej. Publikacja odzwierciedla jedynie stanowisko jej autora i Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za umieszczoną w niej zawartość merytoryczną.

Spis treści

Spis treści	2
I. Wprowadzenie do zestawu	3
II. Podręcznik	4
1. Wprowadzenie do badań niszczących.....	4
1.1. Wprowadzenie do badań niszczących i zasady bezpieczeństwa w badaniach niszczących.....	4
1.2. Projektowanie maszyn i urządzeń do badań niszczących	13
2. Testy mechaniczne (próba rozciągania, próba zginania, próba udarności Charpy'ego, próba pęknięcia, próba twardości).....	22
2.1. Próby rozciągania metali w temperaturze pokojowej	22
2.2. Próba rozciągania złączy spawanych ze spoinami czołowymi, krzyżowymi, zakładkowymi i pachwinowymi.....	37
2.3. Próba zginania metali i złączy spawanych.....	47
2.4. Badanie udarności Charpy'ego metali i połączeń spawanych.....	65
2.5. Próba łamania połączeń spawanych	84
2.6. Pomiar twardości połączeń spawanych	97
2.7. Ćwiczenia do wykorzystania w w trakcie zajęć	103
3. Niepewność pomiaru	109
3.1. Ogólne metody obliczania niepewności.....	109
3.2. Niepewność pomiaru dla próby rozciągania, próby udarności i próby twardości.....	115
3.3. Ćwiczenia do wykorzystania na zajęciach	115
III. Ocena (baza pytań i odpowiedzi oraz 5 praktycznych zadań egzaminacyjnych) - ograniczony dostęp do ANBs	117
IV. Wytyczne dotyczące rozwoju PPT	135
V. Narzędzie do pomiaru niepewności.....	138

I. Wprowadzenie do zestawu

Niniejszy IO3 dotyczy opracowania zasobów niezbędnych do przyszłego wdrożenia kwalifikacji EDTT na poziomie krajowym i jest skierowany zarówno do trenerów/nauczycieli, jak i stażystów oraz EWF ANB (European Welding Federation Authorised Nominated Body), w celu ułatwienia procesu uczenia się i możliwości podnoszenia kwalifikacji.

Obejmuje on opracowanie podręcznika wraz z narzędziami szkoleniowymi i innowacyjnymi narzędziami oceny (ograniczony dostęp dla krajowych ANB), takimi jak zadania uczenia się oparte na problemach, a także praktyczne ćwiczenia w klasie. Zawartość tego podręcznika (np. zestaw materiałów edukacyjnych EDTT – European Destructive Testing Technician) będzie prezentowana podczas Krajowych Wydarzeń Pilotażowych z grupami docelowymi TRUST, w celu wprowadzania wszelkie ulepszeń, które zostaną uznane za konieczne.

Wszyscy partnerzy przyczynili się do opracowania materiałów edukacyjnych i byli zaangażowani w opracowanie wszystkich narzędzi oceny, które zostaną wykorzystane podczas kursu szkoleniowego. Partnerzy TRUST zapewnią, że stworzone ćwiczenia i narzędzia oceny są w pełni dostosowane do dziedziny badań niszczących poprzez opracowanie rzeczywistych analiz przypadków i zadań opartych na rzeczywistych problemach przemysłowe. Zapewni to uczestnikom kursu szkoleniowego EDTT możliwość rozwiązywania problemów, z którymi na co dzień borykają się profesjonaliści zajmujący się badaniami niszczącymi, a tym samym lepiej przygotowuje ich do rozwiązywania niektórych z tych problemów w prawdziwym życiu.

Chociaż opracowane narzędzia oceny mają ograniczony dostęp do krajowych ANB EWF, zostaną one przetłumaczone tak jak i przykłady ćwiczeń praktycznych, na języki narodowe partnerów (PT, IT, PL i RO), zapewniając ich prawidłowe zastosowanie na poziomie krajowym podczas wdrażania kursu szkoleniowego EDTT. Jest to zgodne ze zharmonizowanymi cechami kwalifikacji EDTT, co oznacza, że wszyscy uczestnicy mają dostęp do tego samego szkolenia, tych samych ćwiczeń i tych samych procedur oceny, niezależnie od kontekstu.

II. Podręcznik

Ze względu na poufność jest to jedyna część zestawu materiałów edukacyjnych, do której mają dostęp uczestnicy szkolenia. Materiały te mają na celu wsparcie trenerów w dostarczaniu treści technicznych kursu szkoleniowego EDTT, aby stworzyć dynamiczne środowisko uczenia się oparte na podejściu skoncentrowanym na uczniu. Jednocześnie uczestnicy mogą wykorzystać je jako przewodnik do dalszej nauki.

Jego struktura jest dokładnie taka sama jak struktura 3 jednostek kompetencji, które są częścią programu nauczania EDTT (opracowanego w ramach IO2):

1. Wprowadzenie do badań niszczących,
2. Badania mechaniczne (próba rozciągania, próba zginania, próba udarności Charpy'ego, próba łamania, próba twardości),
3. Niepewność pomiaru.

1. Wprowadzenie do badań niszczących

1.1. Wprowadzenie do badań niszczących i zasady bezpieczeństwa w badaniach niszczących

We współczesnym świecie używamy wielu różnych materiałów przeznaczonych do budowy konstrukcji, komponentów oraz maszyn. Prawidłowe zaprojektowanie tych elementów wymaga dobrej znajomości właściwości ich materiałów składowych, a mianowicie właściwości mechanicznych, takich jak wytrzymałość na rozciąganie, sztywność, plastyczność, twardość i ciągliwość.

Istnieje wiele różnych testów mających na celu określenie tych właściwości, ogólnie nazywanych badaniami mechanicznymi lub badaniami niszczącymi, ze względu na to, że zwykle wymagają one zniszczenia badanego elementu. Testy te najczęściej polegają na pobieraniu próbek z badanych elementów np. w celu:

- Określenia właściwości materiałów wymaganych do projektowania komponentów i struktur.
- Odbioru materiałów podstawowych w celu potwierdzenia zgodności ich właściwości ze specyfikacją.
- Kwalifikacji niektórych procesów produkcji lub łączenia. Spawanie jest typowym i niezwykle ważnym przykładem.
- Określenia jakości produkcyjnych połączeń spawanych.
- Badania wypadków lub przyczyn awarii.

- Badania nad rozwojem nowych materiałów lub nowych procesów produkcyjnych.

W ciągu ostatniego stulecia zaproponowano wiele różnych rodzajów badań mechanicznych służących do określania lub analizowania różnych właściwości materiałowych. W sekcji drugiej przedstawimy kilka rodzajów badań często stosowanych do określania podstawowych właściwości materiałów, mających szczególne znaczenie w spawalnictwie. Aby lepiej zrozumieć te badania, poniżej przedstawimy kilka podstawowych pojęć dotyczących testowania i zachowania materiałów, w szczególności materiałów metalowych i złączy spawanych.

1.1.1. Podstawowe pojęcia

Wytrzymałość mechaniczna danego materiału jest ważną cechą. Jednak wyrażenie tego jako maksymalne obciążenie, które materiał może wytrzymać bez uszkodzenia, nie jest praktyczne, ponieważ grubszy kawałek materiału wytrzyma większe obciążenie. Inną ważną właściwością lub parametrem w testach mechanicznych jest wydłużenie danej długości materiału przy danym obciążeniu. Podobnie jak w przypadku obciążenia, wykorzystanie wydłużenia materiału nie jest praktyczne, ponieważ dłuższy kawałek materiału będzie miał większe wydłużenie. Dlatego w testach mechanicznych i inżynierii używamy pojęć naprężenia i odkształcenia w celu ilościowego określenia tych właściwości materiału.

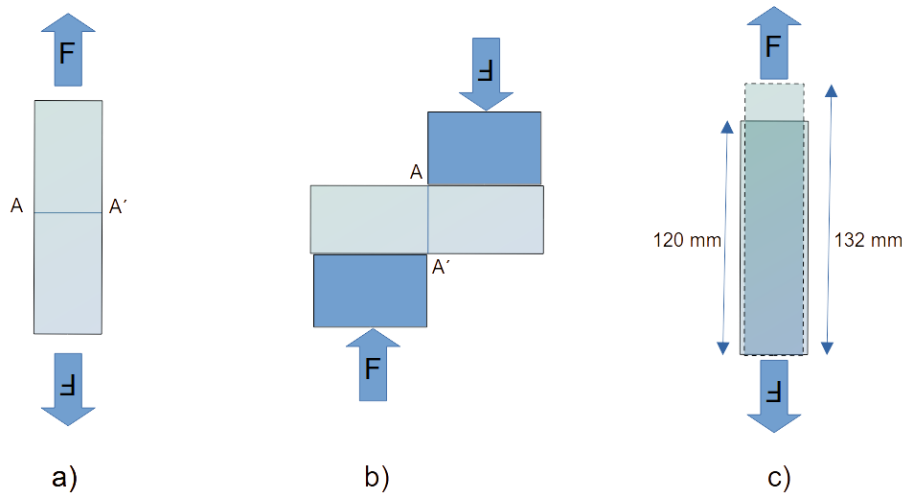
Naprężenie jest definiowane jako obciążenie przyłożone do materiału podzielone przez przekrój poprzeczny tego elementu. Zazwyczaj nazywa się to naprężeniem bezpośrednim lub naprężeniem normalnym, ponieważ przekrój poprzeczny jest prostopadły do siły i reprezentowany przez grecką literę sigma (σ). Na rysunku 1.a), jeśli $F=20$ kN, a przekrój poprzeczny AA' wynosi 100 mm^2 , to:

$$F=20\ 000\text{N}$$

$$AA'=10 \text{ mm}^2 =0,0001 \text{ m}^2 \quad \text{i naprężenia:}$$

$$\sigma = \frac{20\ 000}{0.0001} = 200000000 \text{ N/m} = 200000000 \text{ Pa} = 200 \text{ MPa}$$

Tak więc naprężenie mechaniczne ma takie same jednostki jak ciśnienie, Pascal (Pa) lub częściej w zachowaniu materiałów i testach mechanicznych wielokrotności tego, jak kilopaskal (kPa) lub megapaskal (MPa).



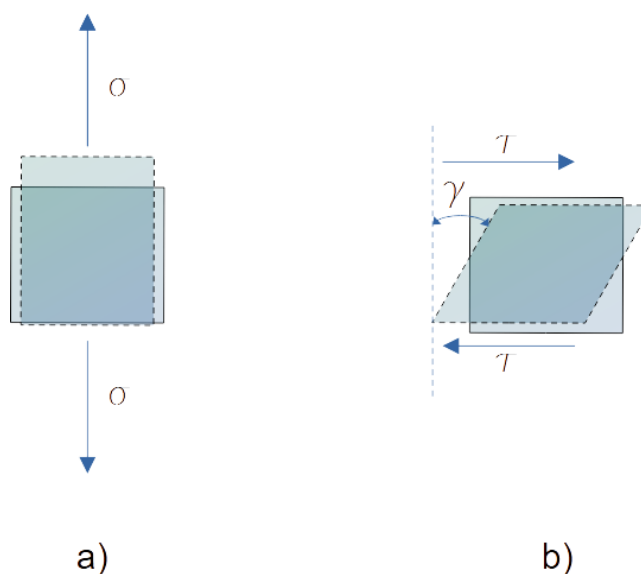
Rysunek 1 - Schematyczne przedstawienie naprężeń i odkształceń na przecie materiału

Możemy również mieć do czynienia z innym rodzajem naprężenia, w którym siła oddziałuje równoległe do przekroju, jak pokazano na rysunku 1b), jest to określane jako naprężenie ścinające i reprezentowane przez grecką literę tau (τ). Na rysunku 1b), jeśli pręt ma ten sam przekrój 100 mm^2 , a siła wynosi 20 kN , to naprężenie ścinające w przekroju AA' wyniesie 200 MPa .

Odształcenie jest definiowane jako wydłużenie elementu (wzrost lub spadek długości) podzielone przez pierwotną długość elementu, często wyrażane w procentach i reprezentowane przez grecką literę epsilon (ϵ). W przykładzie z rysunku 1c), jeśli początkowa długość pręta wynosi $120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$, a końcowa długość pod działaniem siły rozciągającej F wynosi $132 \text{ mm} = 0,132 \text{ m}$, wówczas odkształcenie wynosi:

$$\frac{0.132 - 0.120}{0.120} = 0.1 \text{ m/m}$$

Lub pomnożenie przez 100 w celu przeliczenia na wartość procentową $0.1 \times 100\% = 10\%$.



Rysunek 2 Schematyczne przedstawienie odkształceń bezpośrednich i ścinających

Podobnie naprężenia ścinające również powodują odkształcenie, zwykle oznaczane grecką literą gamma (γ), chociaż to odkształcenie jest trudniejsze do zwizualizowania. Podczas gdy naprężenia normalne powodują jedynie rozciąganie określonego kształtu, naprężenia ścinające powodują zniekształcenie pierwotnego kształtu, (rysunek 2b), gdzie element w kształcie kwadratu staje się rombem. Fizycznie naprężenie ścinające to kąt odkształcenia pokazany na rysunku 2b).

Powszechnie wiadomo, że niektóre materiały, takie jak na przykład guma, można rozciągnąć do większej długości poprzez przyłożenie siły, ale po zwolnieniu materiał odzyskuje swoją pierwotną długość, podczas gdy inne materiały, na przykład drut miedziany, po zgięciu lub rozciągnięciu zachowują zdeformowany kształt/długość po zwolnieniu. Pierwsze zachowanie nazywane jest odkształceniem/naprężeniem sprężystym, podczas gdy drugie nazywane jest odkształceniem/naprężeniem plastycznym. W rzeczywistości większość materiałów, a w szczególności metali, wykazują oba zachowania. Są one elastyczne do pewnego poziomu naprężenia, a następnie stają się plastyczne aż do naprężenia, przy którym pękają. Naprężenie, przy którym zachowanie zmienia się ze sprężystego na plastyczne, nazywane jest granicą plastyczności, a naprężenie, przy którym następuje uszkodzenie, naprężeniem zrywającym lub wytrzymałością na rozciąganie. Znajomość tych własności jest bardzo ważna w przypadku wykorzystania materiałów na różne konstrukcje jak i zastosowaniu tych materiałów w procesach technologicznych, takich jak spawanie. Próba rozciągania, która zostanie szczegółowo przedstawiona w rozdziale 2, pozwala nam precyzyjnie określić te ważne właściwości.

Materiały, które wykazują powyższe zachowanie, ze znacznym odkształceniem plastycznym przed zniszczeniem, nazywane są materiałami ciągliwymi. Istnieją inne materiały, klasycznymi przykładami są ceramika i szkło, które pękają, gdy są nadal w stanie sprężystym lub przy bardzo niewielkim odkształceniu plastycznym, są one nazywane materiałami kruchymi. Kruchy nie oznacza koniecznie "słabszy" w powszechnym znaczeniu tego słowa, w rzeczywistości wiele materiałów o wysokiej wytrzymałości, takich jak stale narzędziowe lub stale szybko tnące (często używane do produkcji narzędzi do cięcia lub obróbki innych materiałów) wykazuje takie zachowanie. Główna różnica polega na energii wymaganej (lub pochłanianej) do zniszczenia materiału. Ponieważ odkształcenie sprężyste jest bardzo małe w porównaniu z odkształceniem plastycznym, energia pochłaniana podczas pęknięcia materiałów kruchych jest również niewielka, pomimo wyższego naprężenia pęknięcia. Pomimo niższego naprężenia pęknięcia, materiały ciągliwe pochłaniają więcej energii do złamania ze względu na znacznie większe odkształcenie plastyczne.

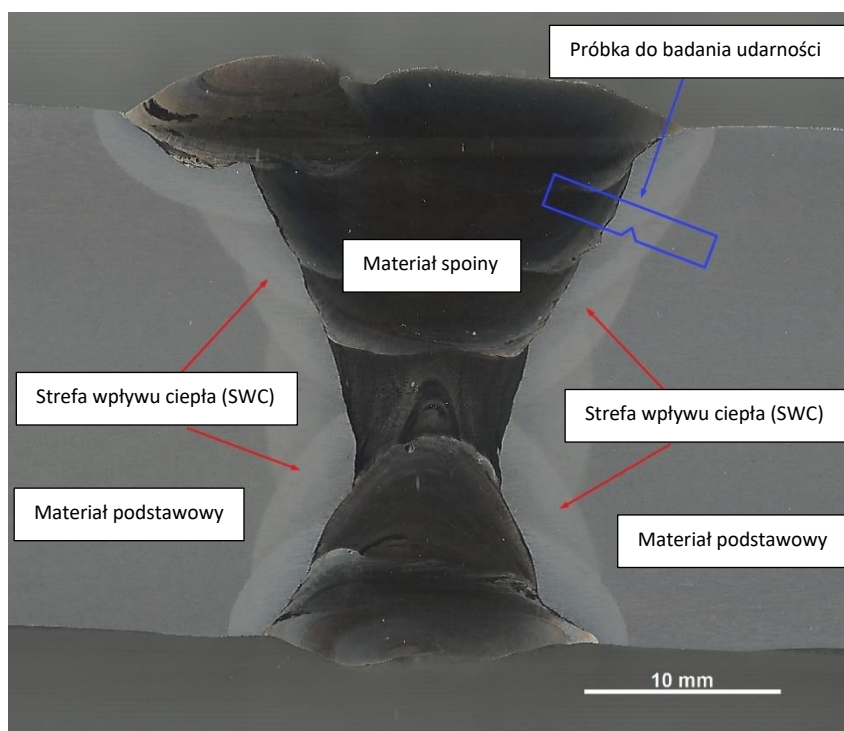
To prowadzi nas do kolejnej właściwości mechanicznej, zwanej odpornością na pęknięcie (udarność). Materiał o wysokiej udarności to materiał, który pochłania wysoką wartość energii zanim ulegnie zniszczeniu. Nie oznacza to, że materiały o wysokiej udarności są lepsze niż te o niskiej udarności, zależy to od zastosowania, do którego chcemy ich użyć. Jeśli uderzymy młotkiem w kawałek stali konstrukcyjnej, wygnie się i wgniecie, ale nie pęknie, z drugiej strony, jeśli zrobimy to samo z wiertłem wykonanym ze stali o wysokiej wytrzymałości, może ono łatwo pęknąć, a nawet roztrzaskać się na kilka kawałków. Wiertło ze stali konstrukcyjnej zużyłoby się i straciłoby swoje krawędzie tnące bardzo szybko, podczas gdy most wykonany ze stali o wysokiej wytrzymałości, oprócz bardzo wysokich kosztów, byłby bardzo wrażliwy na uderzenia i defekty, które mogą powstać podczas pracy, i mógłby się zawalić bez żadnego wcześniejszego ostrzeżenia.

Udarność można określić na podstawie próby rozciągania, ale nie jest to powszechne. Ponieważ właściwość ta jest bardzo ważna, zwłaszcza w przypadku materiałów konstrukcyjnych, zaproponowano specjalne testy w celu jej określenia. Najczęściej stosowanym jest próba udarności Charpy'ego V, w której próbka z karbem jest łamana przez uderzenie. Odpowiednio pobierając próbkę z badanego materiału, możemy umieścić karb w określonym obszarze naszego materiału, aby zbadać określony obszar, a nie całą jego objętość. Dobrym przykładem jest złącze spawane (rysunek 3), w którym można wyróżnić co najmniej trzy obszary:

- Materiał podstawowy - materiał znajdujący się z dala od spoiny, na który nie ma wpływu cykl cieplny spawania.
- Materiał spoiny - materiał, który został stopiony i ponownie zestalony w celu połączenia obu części.

- Strefa wpływu ciepła (SWC) - obszar przylegający do metalu spoiny, który pomimo tego, że nie został stopiony, został poddany działaniu bardzo wysokich temperatur i z tego powodu uległ modyfikacji strukturalnej.

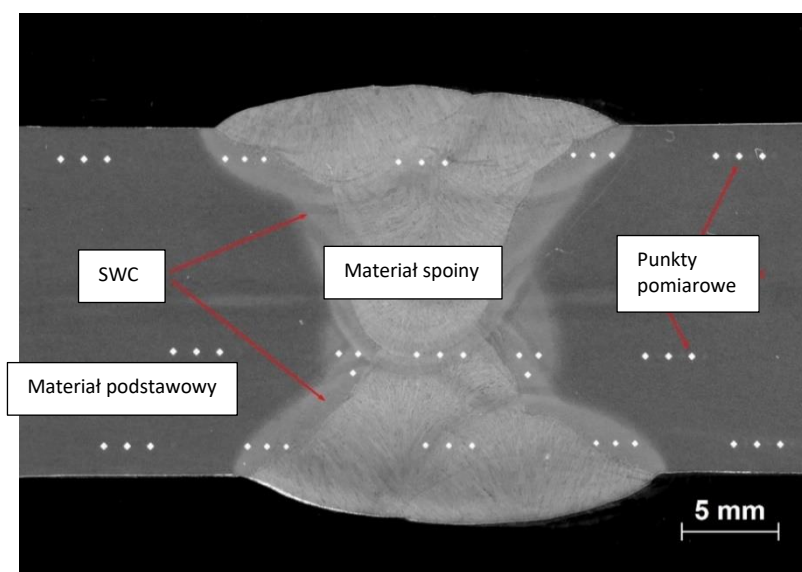
Ostatni obszar jest zwykle najbardziej problematyczny, ponieważ efekt pochłaniania ciepła przez resztę elementu może powodować wysokie szybkości chłodzenia w tym obszarze złącza, a w konsekwencji tworzenie się twardej struktury lub faz. Jak wspomniano wcześniej, twarde fazy są zazwyczaj kruche, co może negatywnie wpływać na wytrzymałość mechaniczną spoiny. Próba udarności jest bardzo przydatna, a zatem bardzo często stosowana do kontroli właściwości strefy wpływu ciepła i upewnienia się, że procedura spawania (lub spawacz) nie powodują tego problemu. Rysunek 3 pokazuje również schematycznie pozycjonowanie próbki do próby udarności w celu zbadania właściwości strefy wpływu ciepła. Ponieważ karb jest umieszczony w tym obszarze, określamy właściwości strefy wpływu ciepła, a nie właściwości całego złącza spawanego.



Rysunek 3 - Makrografia złącza spawanego pokazująca różne obszary możliwej lokalizacji próbki udarnościowej do badania strefy wpływu ciepła.

Ostatnim pojęciem lub właściwością dotyczącą właściwości mechanicznych jest twardość. Jest to bardzo ważna właściwość zarówno sama w sobie, jak i ze względu na jej związek z innymi właściwościami materiału. W naszym codziennym życiu jesteśmy zaznajomieni z pojęciem twardości, instynktownie mamy pojęcie, że na przykład guma jest bardziej miękka niż metal lub szkło. Jednak aby wykorzystać to w inżynierii, potrzebujemy bardziej ilościowego sposobu definiowania i pomiaru tej właściwości.

Pierwszą próbą była skala Mohsa zaproponowana do badania minerałów. Skala ta składa się z dziesięciu minerałów zaczynających się od talku (najbardziej miękkiego) i o rosnącej twardości aż do diamentu (najtwardszy). Jeśli jakiś materiał zostanie zarysowany przez jeden z minerałów, jest bardziej miękkie niż ten minerał, jeśli nie, jest twardszy. Chociaż skala ta jest nadal używana w mineralogii, nie jest zbyt przydatna do oceny twardości nowoczesnych materiałów inżynierskich. Ma tylko dziesięć stopni twardości, a różnica między tymi stopniami nie jest stała, więc rozróżnienie, jakie możemy uzyskać między różnymi materiałami, jest bardzo małe. Nowoczesne techniki pomiaru twardości materiału opierają się na tym, co nazywamy twardością wgłębienia. W tych technikach stempel z twardą końcówką o standardowej geometrii jest dociskany do powierzchni badanego materiału z pewnym standardowym obciążeniem i przez określony czas. Twardość jest oceniana na podstawie wielkości śladu pozostawionego na powierzchni lub głębokości, na jaką stempel wnika w materiał. Zgodnie z tym, twardość można zdefiniować jako odporność materiału na odkształcenia plastyczne. Podobnie jak w przypadku testów udarności, testy twardości, oprócz ogólnego testowania materiałów, są często stosowane w spawalnictwie, ponieważ są również bardzo zlokalizowane, szerokość znaku jest mniejsza lub często znacznie mniejsza niż milimetr, dzięki czemu mogą badać określone obszary materiału w złączu spawanym, Rysunek 4 pokazuje wgłębienia twardości w różnych obszarach złącza spawanego. Ponieważ twardość jest związana ze zdolnością materiału do odkształcania plastycznego, nie jest niezależna od innych właściwości materiału, które omówiliśmy wcześniej. Z reguły twardy materiał będzie kruchy i wykaże wysoką wytrzymałość i niską ciągliwość, i odwrotnie, bardziej miękkie materiał będzie plastyczny i wykaże niską wytrzymałość i wysoką ciągliwość.



Rysunek 4 - Pomiar twardości w złączu spawanym.

1.1.2. Zasady bezpieczeństwa

Badania mechaniczne nie są, ogólnie rzecz biorąc, szczególnie niebezpieczne, niemniej jednak, podobnie jak w przypadku większości prac laboratoryjnych, może dojść do poważnych obrażeń i uszkodzeń, jeśli wymagane operacje testowe nie zostaną przeprowadzone zgodnie z odpowiednimi procedurami i z należytą starannością.

Zagrożenia i kwestie bezpieczeństwa związane z badaniami mechanicznymi można ogólnie podzielić na trzy klasy: urządzenia, operator, środowisko. Te różne aspekty nie są od siebie niezależne i często są ze sobą powiązane.

- Bezpieczeństwo urządzeń badawczych - Prawidłowe działanie sprzętu przeznaczonego do badań niszczących jest podstawowym wymogiem gwarantującym bezpieczeństwo laboratorium testowego. W związku z tym operator musi być odpowiednio przeszkolony w zakresie obsługi sprzętu, zasad jego działania i konstrukcji (kwestię tę omówimy bardziej szczegółowo w sekcji 1.2). Niewłaściwa obsługa sprzętu testowego może również spowodować uszkodzenie samych próbek testowych, a w konsekwencji niską jakość i wiarygodność uzyskanych wyników testów. Wszystkie urządzenia powinny być zainstalowane i sprawdzone zgodnie z instrukcjami producenta, powinny być podłączone do odpowiedniej sieci elektrycznej, powinna być zachowana odpowiednia wentylacja oraz przestrzeń do bezpiecznej obsługi. Laboratorium musi również posiadać odpowiednie normy konserwacji i weryfikacji sprzętu badawczego. Niewłaściwa instalacja/eksploatacja sprzętu może potęgować wszystkie inne zagrożenia.
- Bezpieczeństwo operatora - operatorzy często muszą manipulować ciężkimi częściami, takimi jak np. ciężkie próbki testowe i/lub oprzyrządowanie, z tego względu stosowanie odpowiedniego obuwia ochronnego powinno być wysoce zalecane lub nawet obowiązkowe. Podobnie, stosowanie rękawic ochronnych jest również wysoce zalecane, ponieważ wiele elementów testowych może mieć ostre krawędzie lub odpryski pozostałe po obróbce skrawaniem, które mogą powodować skaleczenia i siniaki. Niemniej jednak, podczas konfiguracji testu często konieczne jest wykonanie niektórych pomiarów za pomocą suwmiarek lub noniუსy, które mogą być trudne do wykonania w ciężkich rękawicach, dlatego też powinny być dostępne cieńsze rękawice, takie jak lateksowe. Niektóre testy, w szczególności testy na kruchych materiałach lub kompozytach, mogą roztrzaskać się na kilka kawałków lub wystrzelić mikrowłókna, dlatego też zaleca się stosowanie ochrony oczu lub twarzy. Tego rodzaju ochrona może być również wymagana podczas wykonywania testów udarności w temperaturach poniżej temperatury otoczenia. Temperatury te są zwykle osiągnęte za pomocą kąpieli



kriogenicznych lub ciekłego azotu, który może się rozlać, powodując oparzenia lub uszkodzenie oczu. Niebezpieczne lub agresywne chemikalia nie są powszechne w laboratorium testów mechanicznych, ale czasami mogą być wymagane roztwory na bazie kwasów, a także produkty odtłuszczające, które mogą być drażniące w kontakcie ze skórą. W razie potrzeby dostępne powinny być również rękawice lateksowe lub podobne.

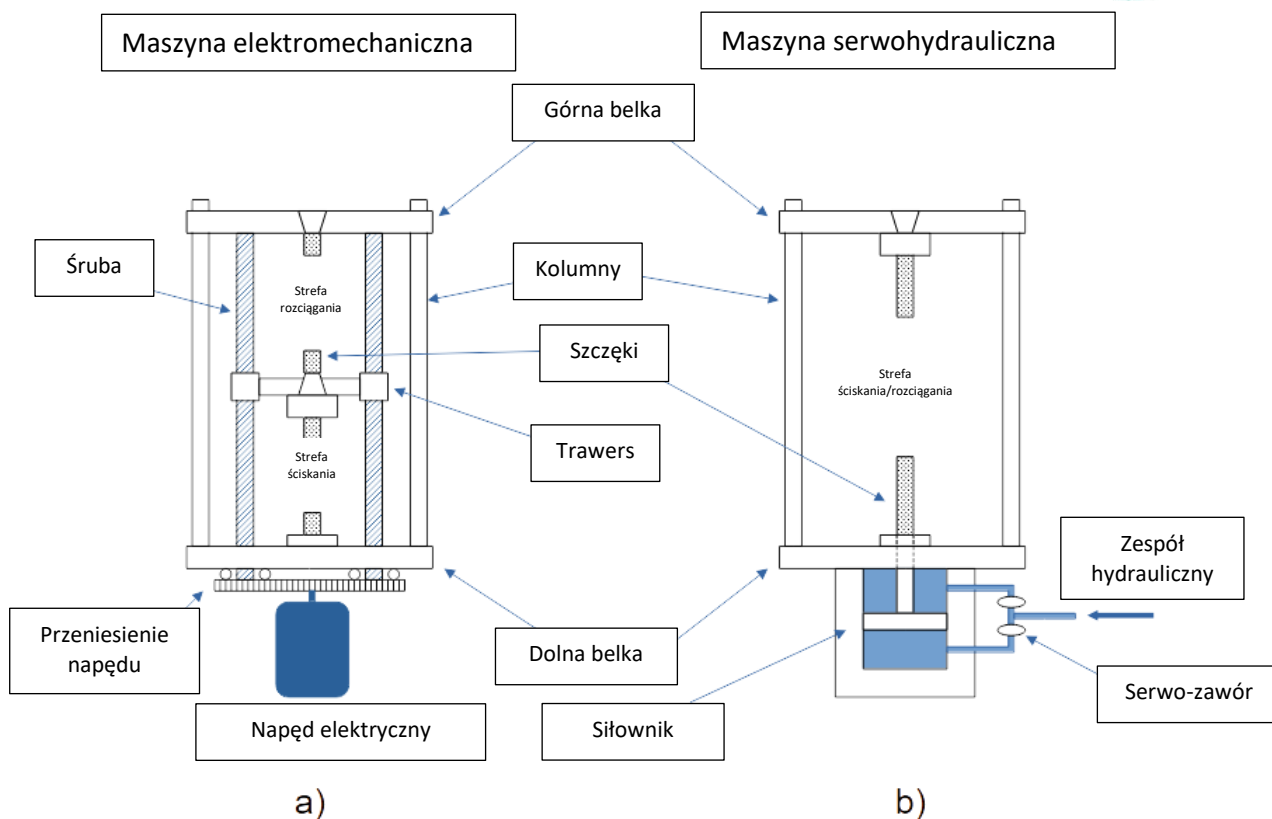
- **Bezpieczeństwo środowiskowe** - Jak wspomniano wcześniej, laboratorium badań mechanicznych nie będzie pracować ze szczególnie niebezpiecznymi materiałami. Niemniej jednak, niektóre chemikalia mogą wymagać specjalnej obsługi, a w szczególności, w przypadku, gdy laboratorium obsługuje sprzęt hydrauliczny, niektóre duże ilości oleju hydraulicznego mogą wymagać okresowej utylizacji. Substancje te mogą stanowić potencjalne zagrożenie zarówno dla personelu laboratorium, jak i dla środowiska. Personel powinien być odpowiednio przeszkolony w zakresie obchodzenia się z tymi materiałami i ich przechowywania, natomiast laboratorium powinno dysponować odpowiednimi procedurami utylizacji tych substancji, zwykle poprzez zlecenie ich recyklingu lub odpowiedniego zniszczenia wyspecjalizowanej firmie.

1.2. Projektowanie maszyn i urządzeń do badań niszczących

Aby przeprowadzić badania mechaniczne lub niszczące, potrzebujemy sprzętu z ruchomą częścią do przyłożenia wymaganych obciążeń i nieruchomą częścią do podparcia lub przytrzymania badanego elementu. Ta ostatnia musi oczywiście być w stanie wytrzymać przyłożone obciążenia bez znacznego odkształcenia. Poniżej omówimy główne zasady projektowania i charakterystykę trzech typów urządzeń, które są reprezentatywne dla większości sytuacji związanych z testami mechanicznymi:

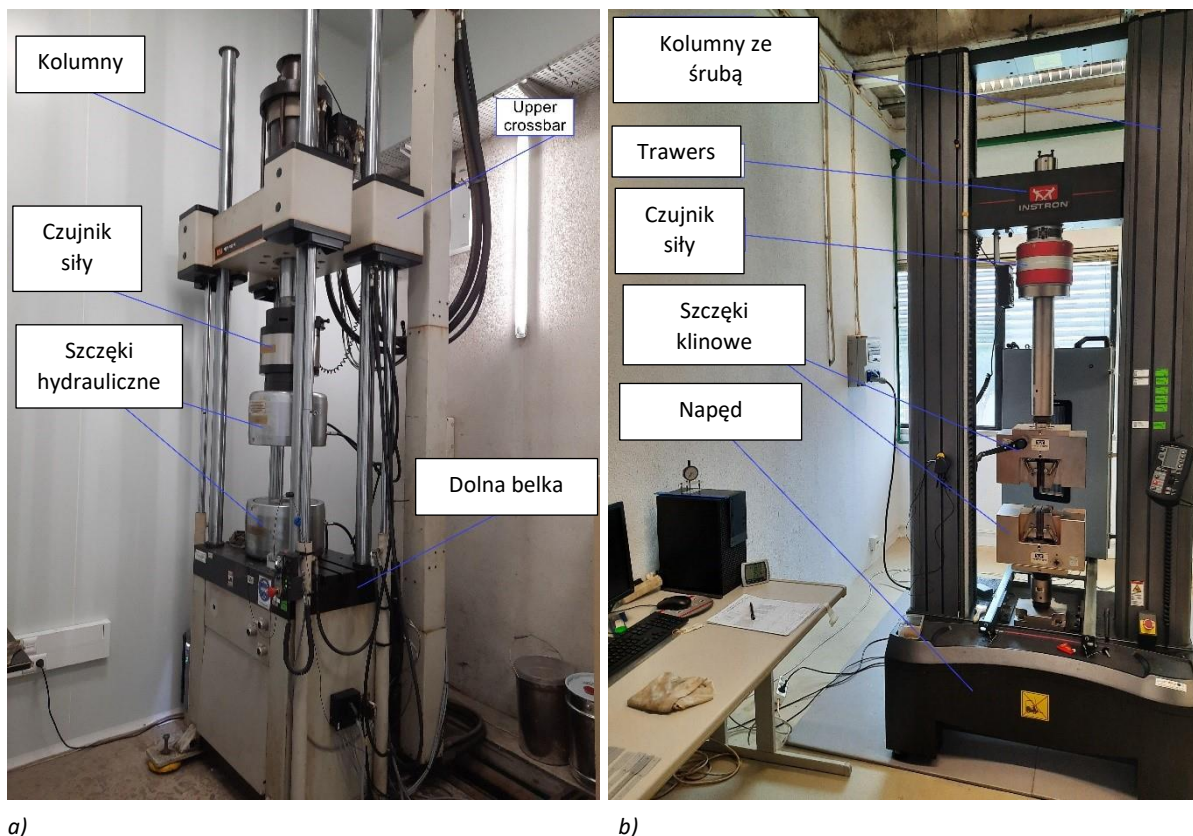
- Maszyny rozciągające - obciążenie rozciągające przykładane stopniowo aż do zniszczenia.
- Maszyny udarowe - obciążenie przyłożone bezpośrednio przez uderzenie.
- Maszyny do pomiaru twardości - obciążenie ściskające przykładane stopniowo.

Maszyny do prób rozciągania są prawdopodobnie najczęściej używanymi urządzeniami do testów mechanicznych, pomimo nazwy mogą być również używane do wielu innych rodzajów testów mechanicznych, w rzeczywistości są one czasami nazywane uniwersalnymi maszynami testującymi. Maszyny te można zasadniczo podzielić na dwa typy: elektromechaniczne, w których siła jest przykładana przez silnik elektryczny, oraz serwohydrauliczne, w których siła jest generowana przez podnośnik hydrauliczny lub siłownik. Pomimo różnic związanych z konkretną metodą napędzania każdego typu maszyny, podstawowa konstrukcja jest podobna. Musimy mieć ramę obciążeniową, aby umożliwić przyłożenie siły do próbki, pewne środki do uchwycenia próbki w ramie obciążeniowej i czujniki do pozyskiwania potrzebnych danych testowych.



Rysunek 5 - Schematyczne przedstawienie głównych konstrukcji maszyn do prób rozciągania.

Maszyny elektromechaniczne składają się zasadniczo z dwóch pionowych kolumn stalowych, równoległych do siebie i połączonych na górze i na dole sztywnymi i statycznymi poprzeczkami (rysunek 5a) (niektóre maszyny o dużej pojemności mogą mieć konfigurację poziomą, ale nie jest to powszechne). Równoległe do pionowych prętów znajdują się dwa gwintowane pręty lub śruby, które mogą obracać się napędzane silnikiem elektrycznym, zwykle umieszczonym poniżej ramy nośnej maszyny. Śruby te mogą napędzać ruch ruchomej poprzeczki, zwykle nazywanej trawersą. Ta konfiguracja maszyny może mieć pojedynczy obszar testowy, w którym próbka jest chwyтана między trawersą a jednym z prętów poprzecznych, lub dwa obszary testowe, jeden poniżej trawersy, zwykle do ściskania, zginania i podobnych testów obejmujących obciążenia ściskające, a drugi obszar testowy powyżej trawersy specjalnie do testów rozciągania. Jest to konfiguracja przedstawiona na rysunku 5a), podczas gdy na rysunku 6b) pokazano maszynę z jednym obszarem testowym.



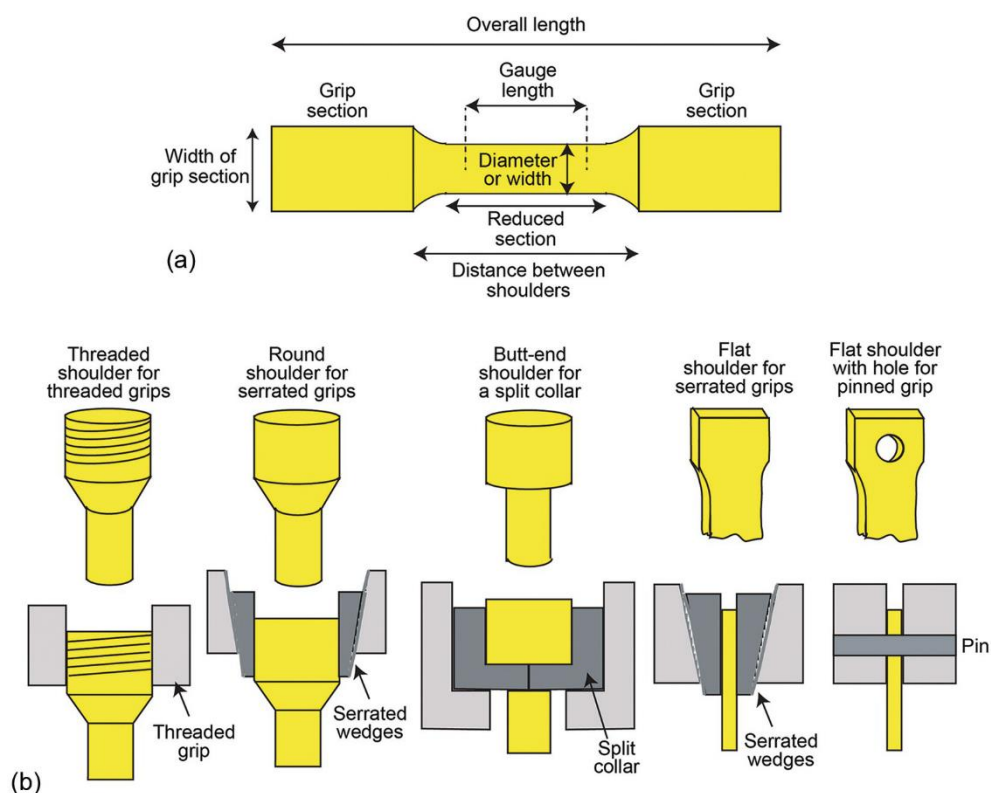
Rysunek 6 - Mechaniczne maszyny wytrzymałościowe; a) hydrauliczna czterokolumnowa wyposażona również w uchwyty hydrauliczne; b) elektromechaniczna wyposażona w ręczne uchwyty klinowe.

Hydrauliczne maszyny wytrzymałościowe mają ramę obciążeniową podobną do urządzeń elektromechanicznych, ale mają siłownik hydrauliczny na górnej lub dolnej belce poprzecznej do przyłożenia obciążenia (rysunek 5b). W przeciwieństwie do maszyn EM, w których konfiguracja dwukolumnowa jest bardziej powszechna, maszyny hydrauliczne, zwłaszcza te o dużej sile, często mają cztery kolumny (rysunek 6a). Chociaż starsze konstrukcje tego typu maszyn mogą mieć również dwa obszary testowe, w dzisiejszych czasach bardziej powszechna jest konfiguracja z jednym obszarem testowym (rysunek 5a) i rysunek 6a).

Aby przeprowadzić testy, maszyny wytrzymałościowe muszą mieć w swojej konstrukcji pewne inne części lub akcesoria, które są wspólne dla wszystkich maszyn, niezależnie od rodzaju układu napędowego. Wszystkie konstrukcje maszyn muszą zawierać system mocowania próbki w maszynie, a system ten musi być wystarczająco wytrzymały, aby utrzymać wymagane obciążenia testowe. Ponieważ testy mechaniczne opierają się na przyłożeniu obciążenia do próbki, konstrukcja maszyny musi również obejmować czujnik do pomiaru obciążenia przykładanego podczas testu. W przeszłości stosowano

kilka systemów, ale w nowoczesnych konstrukcjach czujnik ten jest ogniwoem obciążnikowym zintegrowanym z układem obciążenia maszyny.

Rysunek 7 przedstawia schematycznie niektóre z najpopularniejszych konstrukcji szczęk. Są to zazwyczaj systemy hydrauliczne (rysunek 8b) lub mechaniczne (rysunek 8a). Pierwszy z nich jest bardziej elastyczny, ponieważ siłę chwytania można dostosować do konkretnego wykonywanego testu. Te mechaniczne składają się z dwóch ząbkowanych klinów (czasami nazywane są uchwytami klinowymi), które przesuwają się po nachylonej stałej powierzchni. Pod warunkiem, że nie ma poślizgu próbki, siła zacisku wzrasta wraz z obciążeniem rozciągającym.

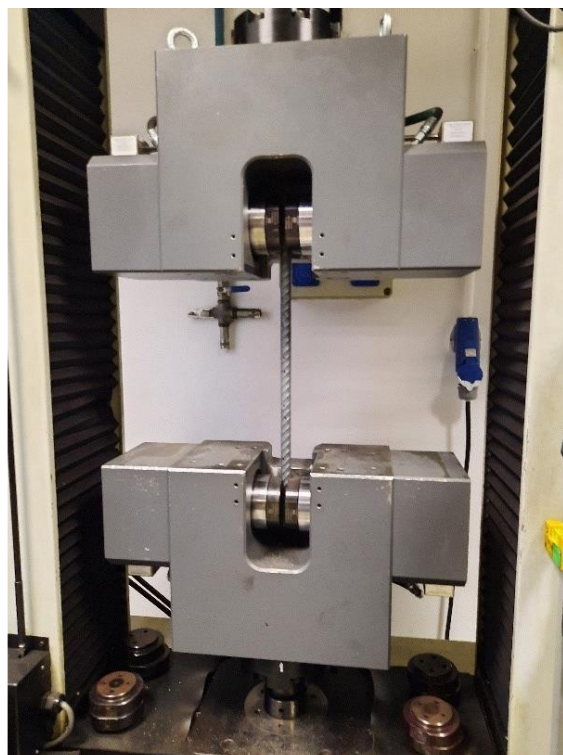


Rysunek 7 - Różne metody mocowania próbek.

https://static.cambridge.org/binary/version/id/urn:cambridge.org:id:binary:20210415111914621-0122:9781108943369:83789fig5_1.png?pub-status=live;
konsultowane w dniu 15-03-23



a)



b)

Rysunek 8 - Dwa przykłady mechanicznych uchwytów maszyn testujących: a) mechaniczny klinowy; b) hydrauliczny.

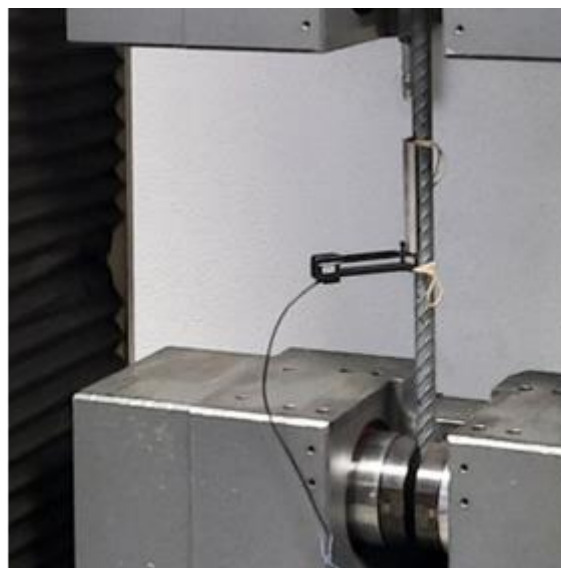
Wreszcie, wszystkie nowoczesne konstrukcje maszyn zawierają czujnik siły do monitorowania obciążeń przykładanych do próbki podczas testu. W przeszłości stosowano różne typy przetworników, ale nowoczesne konstrukcje opierają się na czujniku w układzie obciążenia maszyny, przymocowanym do stałej belki poprzecznej lub ruchomej trawersy/tłoka, rysunek 6. Nowoczesne maszyny wytrzymałościowe zawierają również przetwornik przemieszczenia podłączony do trawersy lub tłoka hydraulicznego w celu monitorowania ich położenia i ruchu podczas konfiguracji i samego testu.

Do przeprowadzenia wielu testów mechanicznych (w szczególności testów rozciągania) czujnik przemieszczenia maszyny nie jest wystarczająco dokładny, ponieważ mierzy również odkształcenie samej maszyny. Chociaż nie jest to część konstrukcji maszyny, do przeprowadzenia dokładnych testów wymagany jest jeden dodatkowy przetwornik. Jest to ekstensometr, który pozwala nam zmierzyć rzeczywiste odkształcenie lub naprężenie samej próbki testowej. W dzisiejszych czasach dostępnych jest kilka typów, w tym bezdotykowy laser i korelacja obrazu wideo, ale najbardziej powszechnym jest system mechaniczny składający się z dwóch ramion z krawędziami nożowymi, przymocowanych do korpusu próbki za pomocą zacisków, sprężyn lub nawet elastycznych sznurków. Rysunek 9 przedstawia

przykłady takich mechanicznych ekstensometrów, z których jeden jest przymocowany do próbki pręta zbrojeniowego podczas testu.



a)

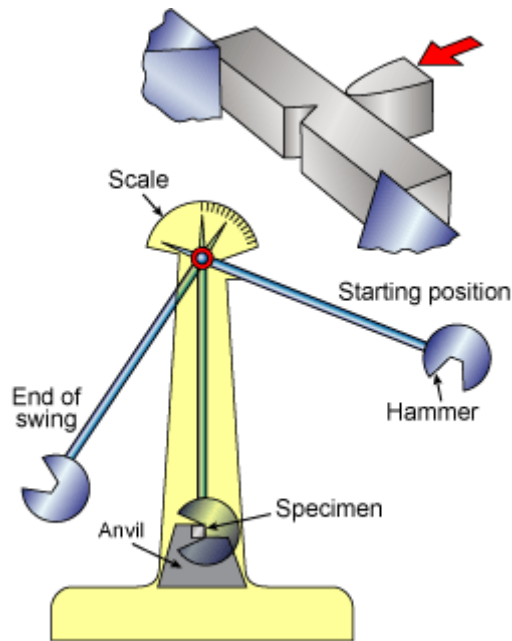


b)

Rysunek 9 - Dwa przykłady mechanicznych ekstensometrów kontaktowych. W b) ekstensometr jest przymocowany do pręta zbrojeniowego za pomocą elastycznych sznurków podczas testu.

Testy udarności są zwykle wykonywane w maszynach, które opierają się na grawitacji w celu przyłożenia uderzenia do badanej próbki. Najpopularniejszą konstrukcją jest konfiguracja wahadłowa, pierwotnie zaproponowana na początku XX wieku i nadal stosowana w dzisiejszych czasach. Konstrukcja ta składa się z bardzo ciężkiej podstawy (zwykle betonowej płyty i ciężkich stalowych płyt). Pionowe filary są zainstalowane na tej podstawie, aby wspierać wahlwe ramię z ciężkim młotkiem na końcu. Próbka jest podtrzymywana przez kowadło na spodzie maszyny, na drodze młota i w pozycji, w której wycięcie jest wyrównane z krawędzią uderzającą młota. Gdy wahadło zostanie zwolnione bez żadnej próbki w maszynie, odchyli się na drugą stronę i podniesie na tę samą wysokość, z której zostało zwolnione; jeśli teraz próbka znajduje się w maszynie, ruch wahadła zostanie opóźniony podczas uderzenia w próbkę i podniesie się na niższą wysokość. Różnica w energii potencjalnej odpowiadająca różnicy wysokości jest energią pochłoniętą do złamania próbki. Rysunek 10 przedstawia schematycznie zasadę działania tego urządzenia. Konstrukcja ta pozostała w dużej mierze niezmienną od czasu zaproponowania testu udarności. Główne zmiany dotyczyły trybu pracy i od-

czytu energii. Starsze modele były obsługiwane ręcznie za pomocą ramienia pomocniczego obsługiwanego przez wał korbowy w celu podniesienia wahadła do wysokości startowej, a odczyt energii odbywał się za pomocą tarczy z dwiema igłami, z których jedna obracała się wraz z wahadłem, które przeciągało drugą; gdy wahadło osiągnie maksymalną wysokość po uderzeniu i opadnie, przeciągnięta igła pozostaje w pozycji maksymalnej, wskazując energię. Nowoczesne maszyny są zwykle sterowane komputerowo z w pełni automatycznymi ramionami pozycjonującymi z cyfrowym odczytem energii. Rysunek 11 przedstawia zarówno stary, jak i nowoczesny model



Rysunek 10 - Schematyczne przedstawienie wahadła do próby udarowości i próbki w pozycji testowej.
<https://www.twi-global.com/images/00022/9757.gif>; konsultowane w dniu 28-03-2023 r.



a)

b)

Rysunek 11 - Przykłady wahadeł do testów zderzeniowych; a) nowoczesny skomputeryzowany sprzęt, w pełni zamknięty dla bezpieczeństwa; b) starszy sprzęt ręczny z tylko częściową ochroną.

Podobnie jak w przypadku próby udarności, nowoczesne techniki badania twardości zaczęto opracowywać pod koniec XIX i na początku XX wieku, a podstawowa konstrukcja maszyny pozostała zasadniczo niezmieniona do czasów współczesnych. Główne postępy poczyniono w zakresie kontroli i pomiarów testowych, które obecnie są często w pełni zautomatyzowane i skomputeryzowane, chociaż ręczne nadal są często używane. Głównymi cechami tego typu urządzeń są solidna i sztywna platforma do podtrzymywania badanej próbki (platforma ta ma zwykle system podnoszenia, taki jak śruba, aby dostosować wysokość do wielkości próbki); stempel o określonej geometrii (jak kula, stożek lub piramida); system ładowania do dociskania stempla do powierzchni próbki oraz mały mikroskop, który można wymieniać z stemplem i pozwala wybrać właściwe miejsce przed testem i zmierzyć rozmiar wgłębienia pozostawionego na powierzchni po teście. Spośród kilku technik stosowanych obecnie do pomiaru twardości, jedna opiera się na głębokości, na jaką stempel penetruje powierzchnię materiału, a nie na wielkości pozostawionego na niej śladu, ale pozostałe zasady nadal mają zastosowanie i często zdarza się, że jedna maszyna może wykonywać kilka z tych technik. Rysunek 12 przedstawia schemat maszyny do badania twardości, podczas gdy rysunek 13 pokazuje zarówno model w pełni ręczny, jak i nowoczesny, w pełni automatyczny.

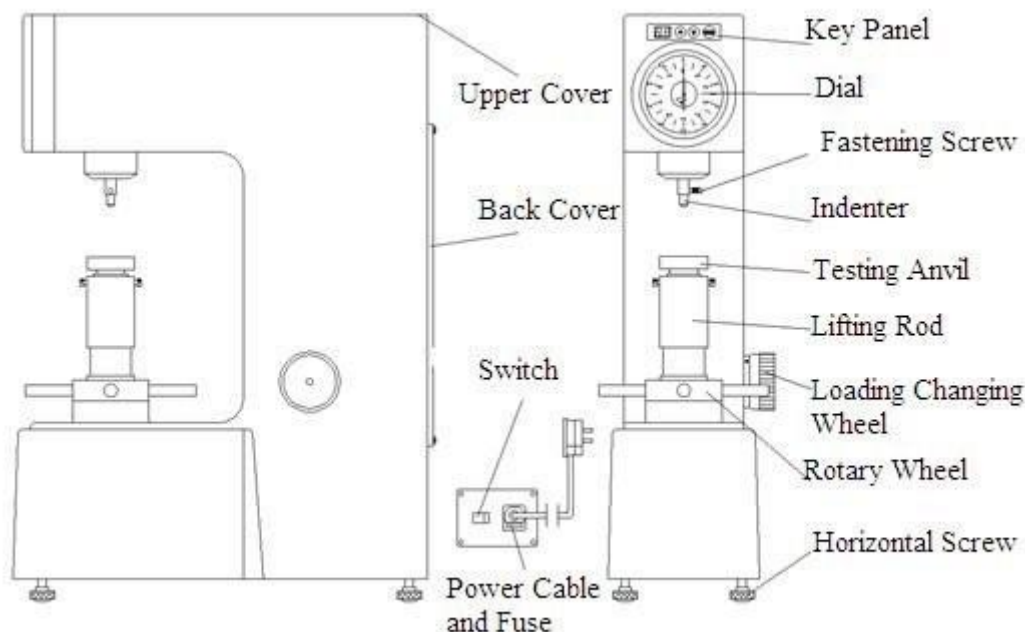
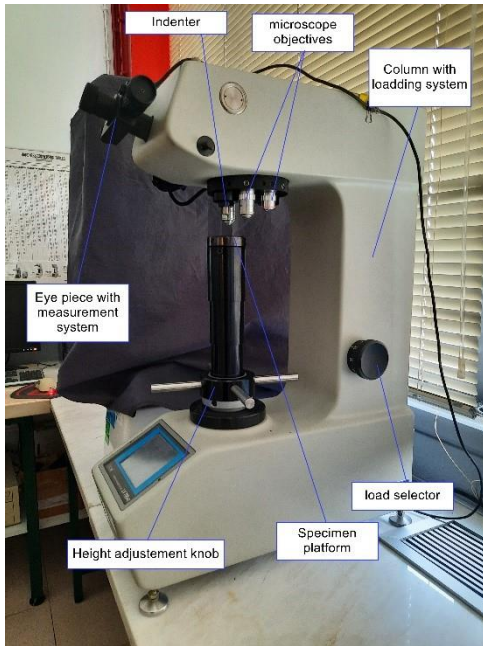
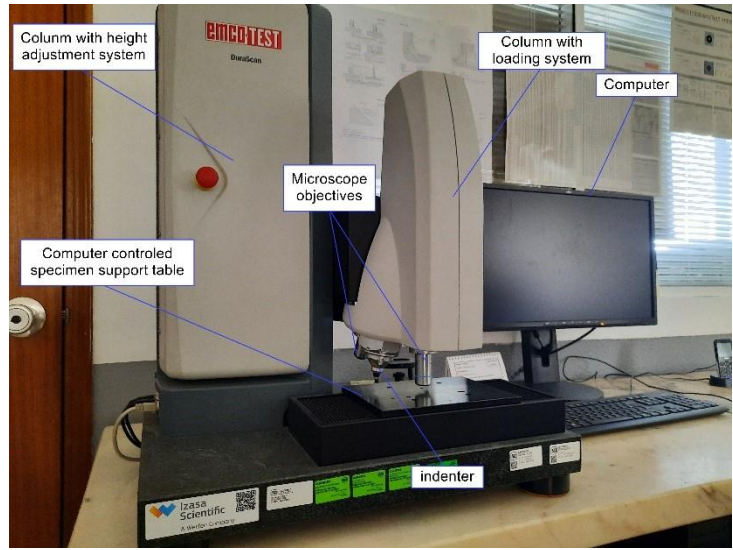


Figure 12 - Schematic representation of a hardness test machine (durometer).

https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Vickers-Hardness-Test-7_fig5_338430669; consulted in 20-03-23



a)



b)

Figure 13 - Examples of durometers a) manually operated equipment; and b) fully automatic equipment (computerised).

2. Testy mechaniczne (próba rozciągania, próba zginania, próba udarności Charpy'ego, próba pęknięcia, próba twardości)

2.1. Próby rozciągania metali w temperaturze pokojowej

2.1.1. Wprowadzenie

Próba rozciągania jest podstawowym rodzajem próby dla metali o zastosowaniach inżynierskich i pozwala na określenie podstawowych właściwości materiałów. Próba polega na osiowym rozciąganiu próbek o określonym kształcie w uchwytach maszyny wytrzymałościowej. Próbki używane do testu można podzielić na część rozciągającą i część chwytającą. W próbkach używanych do tego testu znajduje się sekcja pomiarowa do prób rozciągania oraz sekcja chwytająca do chwytania i przenoszenia obciążenia. Uchwyt do przenoszenia obciążenia. Zasadniczo do prób rozciągania stosuje się próbki cylindryczne lub płaskie.

Próba rozciągania jest przeprowadzana poprzez przesuwanie jednej ze szczęk ze stałą prędkością lub stałym tempem narastania obciążenia. Podczas testu rejestrowana jest zależność wzrostu długości miernika od siły rozciągającej, a na końcu próby rozciągania określone są właściwości wytrzymałościowe. Kształt uzyskanego wykresu zależy od rodzaju i stanu testowanego materiału. W przypadku stali niskowęglowych i metali o wysokiej ciągliwości, zazwyczaj uzyskuje się wykresy z wyraźną granicą plastyczności, podczas gdy w przypadku materiałów o wysokiej wytrzymałości bez wyraźnej granicy plastyczności. Od momentu przyłożenia obciążenia, wydłużenie próbki wzrasta wprost proporcjonalnie do siły obciążającej, aż do osiągnięcia tzw. granicy plastyczności (granicy sprężystości). Po przekroczeniu granicy proporcjonalności obserwuje się wyraźny wzrost wydłużenia próbki przy stałym lub zmiennym poziomie siły obciążającej. Odpowiada to granicy plastyczności R_e . Wraz z dalszym wzrostem wydłużenia następuje wzrost siły, ale już nie w zakresie proporcjonalnym do odkształcenia sprężystego. Po osiągnięciu maksymalnej siły - F_m - powstaje lokalne zwężenie próbki, zwane szyjką. Jest to przyczyną powolnego spadku siły. Pod koniec testu próbka pęka. Po pęknięciu próbki, długość odcinka pomiarowego i wymiary lokalnego przewężenia.

2.1.2. Description of the tensile test procedure

Celem normy jest zapewnienie prawidłowego przeprowadzenia próby rozciągania metali. Procedura określa metodę próby rozciągania materiałów metalicznych i definiuje właściwości mechaniczne, które można określić w temperaturze pokojowej.

Procedura została opracowana w oparciu o normę EN ISO 6892-1.

2.1.3. Zasady próby

The test consists of straining the test specimen using a tensile force, usually to fracture, to determine mechanical properties such as:

- **wydłużenie procentowe po złamaniu - A**

Trwałe wydłużenie procentowe po zerwaniu wyrażone w procentach długości pomiarowej początkowej.

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie

L_u - długość pomiarowa końcowa po zerwaniu,

L_0 - długość pomiarowa początkowa.

W celu ręcznego określenia wydłużenia po zerwaniu A, każdy koniec pierwotnej długości pomiarowej L_0 , należy oznaczyć za pomocą punktów, linii trasowanych lub stempli, ale nie za pomocą znaków, które mogłyby spowodować przedwczesne zerwanie. Początkowa długość pomiarowa powinna być oznaczona z dokładnością $\pm 1\%$.

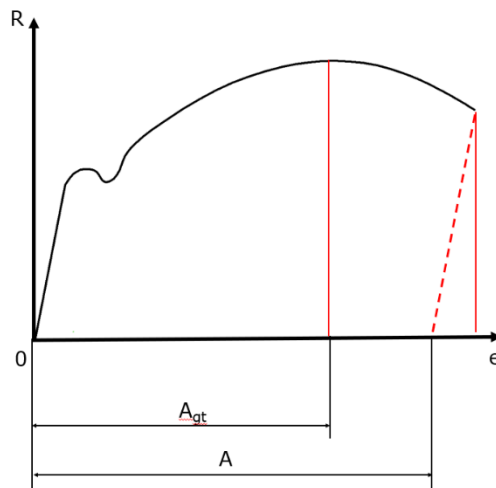
W przypadku proporcjonalnych części testowych obliczona wartość początkowej długości pomiarowej może być zaokrąglona do najbliższej wielokrotności 5 mm, pod warunkiem, że różnica między obliczoną a oznaczoną długością pomiarową jest mniejsza niż $10\% L_0$.

Jeśli długość równoległa L_c , jest znacznie większa niż długość początkowa, jak na przykład w przypadku nieobrobionych próbek, można oznaczyć serię kilku zachodzących na siebie długości pomiarowych.

W niektórych przypadkach pomocne może być wykonanie linii równoległej do osi wzdłużnej, wzdłuż której zaznaczone są długości pomiarowe.

- **Wydłużenie ekstensometryczne całkowite procentowe przy sile maksymalnej - A_{gt}**

Całkowite wydłużenie (wydłużenie sprężyste plus wydłużenie plastyczne) przy maksymalnej sile, wyrażone jako procent długości pomiarowej ekstensometru L_e (początkowa długość pomiarowa ekstensometru używana do pomiaru wydłużenia).



- e - wydłużenie procentowe - obciążenie,
wyrażona jako procent długości pomiarowej ekstensometru,
- R - naprężenie,
- A_{gt} - • Wydłużenie ekstensometryczne całkowite procentowe przy sile maksymalnej,
- A - Procentowe wydłużenie po zerwaniu

Rysunek 14: Przykłady wydłużenia [1].

- **Percentage reduction of area – Z**

Maximum change in cross section area which has occurred during the test, expressed as a percentage of the original cross section area.

$$Z = \frac{Z_0 - Z_u}{Z_0} \cdot 100\%$$

where

S_u – minimum cross-sectional area after fracture,

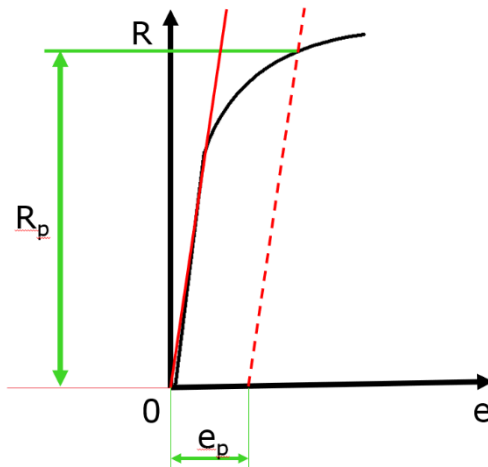
S_0 – original cross-sectional area of the parallel length.

- **Umowna granica plastyczności, wydłużenie ekstensometryczne, R_p**

Naprężenie, przy którym wydłużenie ekstensometryczne plastyczne jest równe określonemu procentowi długości pomiarowej ekstensometru.

Do indeksu dolnego dodawany jest przyrostek wskazujący zalecaną wartość procentową, np. $R_{p0,2}$

Do określenia R_p obowiązkowe jest użycie ekstensometru



e - wydłużenie ekstensometryczne procentowe,
 e_p – wymagane wydłużenie ekstensometryczne plastyczne procentowe,
 R - naprężenie,
 R_p – umowna granica plastyczności, wydłużenie ekstensometryczne plastyczne

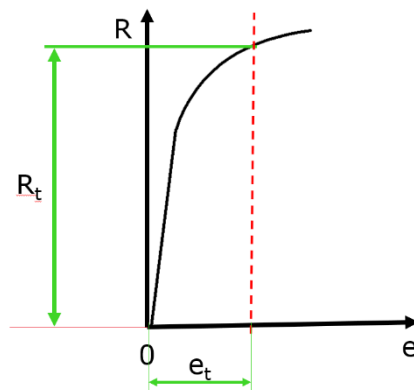
Rysunek 15: Umowna granica plastyczności, wydłużenie ekstensometryczne plastyczne, R_p [1].

- **Umowna granica plastyczności, wydłużenie ekstensometryczne całkowite, R_t**

Naprężenie, przy którym całkowite wydłużenie (wydłużenie sprężyste plus wydłużenie plastyczne) jest równe określonemu procentowi długości pomiarowej ekstensometru L_e .

Do indeksu dolnego dodawany jest przyrostek wskazujący zalecaną wartość procentową, np. $R_{t0,5}$

W celu określenia R_t obowiązkowe jest użycie ekstensometru



e - wydłużenie ekstensometryczne procentowe,
 e_t – wydłużenie ekstensometryczne całkowite procentowe,
 R - naprężenie,
 R_t – umowna granica plastyczności, wydłużenie ekstensometryczne całkowite

Rysunek 16: Umowna granica plastyczności, wydłużenie ekstensometryczne całkowite, R_t [1].

- **Granica plastyczności, R_e**

Występuje, gdy materiał metaliczny wykazuje zjawisko plastyczności, naprężenie odpowiadające punktowi osiągniętemu podczas testu, w którym następuje odkształcenie plastyczne bez wzrostu siły.

- **Górna granica plastyczności, R_{eH}**
Maksymalna wartość naprężenia przed pierwszym spadkiem siły
- **Dolna granica plastyczności, R_{eL}**
Najniższa wartość naprężenia podczas plastycznego odkształcania, pomijając wszelkie początkowe efekty przejściowe

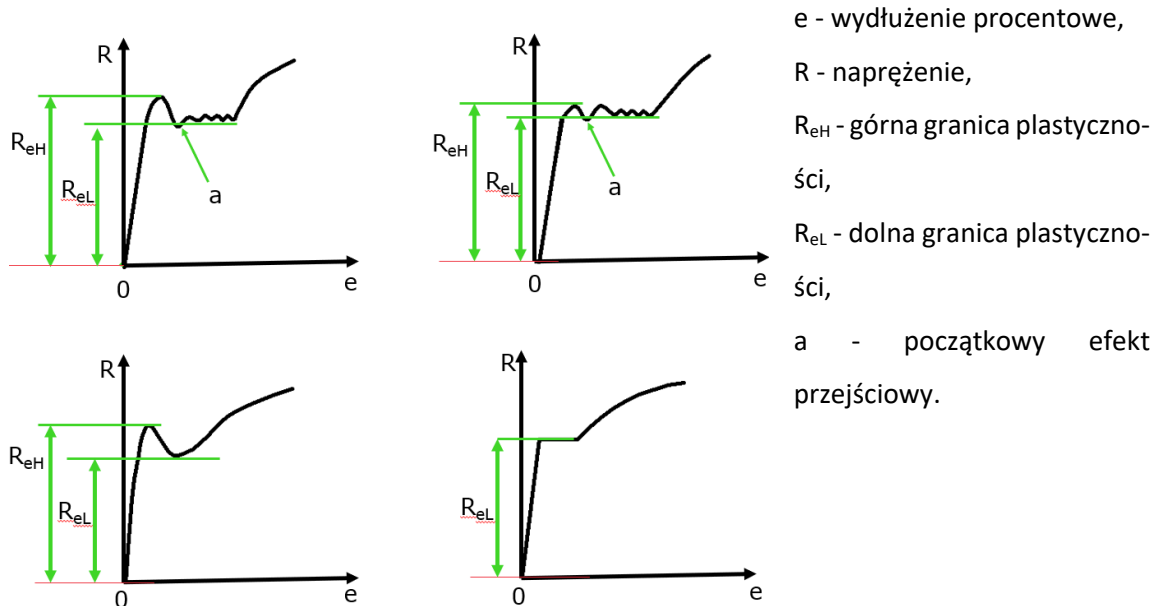


Figure 17: Examples of upper and lower yield strengths for different types of curves [1].

- **Wytrzymałość na rozciąganie, R_m**
Naprężenie odpowiadające maksymalnej sile

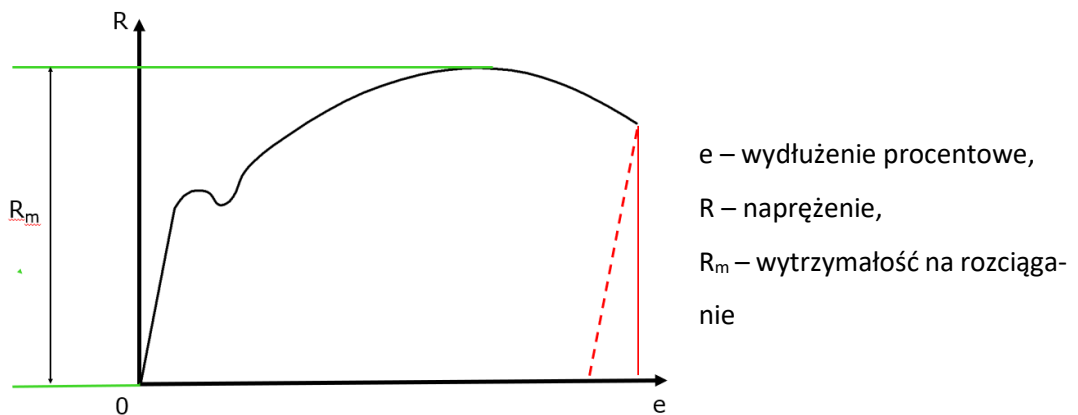


Figure 18: Wytrzymałość na rozciąganie [1].

2.1.4. Próbkki do badań

a) Kształty i wymiary

Kształt i wymiary próbek mogą być ograniczone kształtem i wymiarami wyrobu metalowego, z którego pobierane są próbki do badań. Próbka do badań jest najczęściej przygotowywana poprzez obróbkę mechaniczną produktu lub półproduktu. Możliwe jest również testowanie komponentów bez obróbki mechanicznej (np. rur, drutów, prętów itp.).

Przekroje próbek mogą być okrągłe, kwadratowe, prostokątne, pierścieniowe lub w szczególnych przypadkach o innych kształtach.

Preferowane próbki testowe (proporcjonalne próbki testowe) powinny mieć określony stosunek między pierwotną długością pomiarową, L_0 i pierwotnym polem przekroju, S_0 zgodnie ze wzorem:

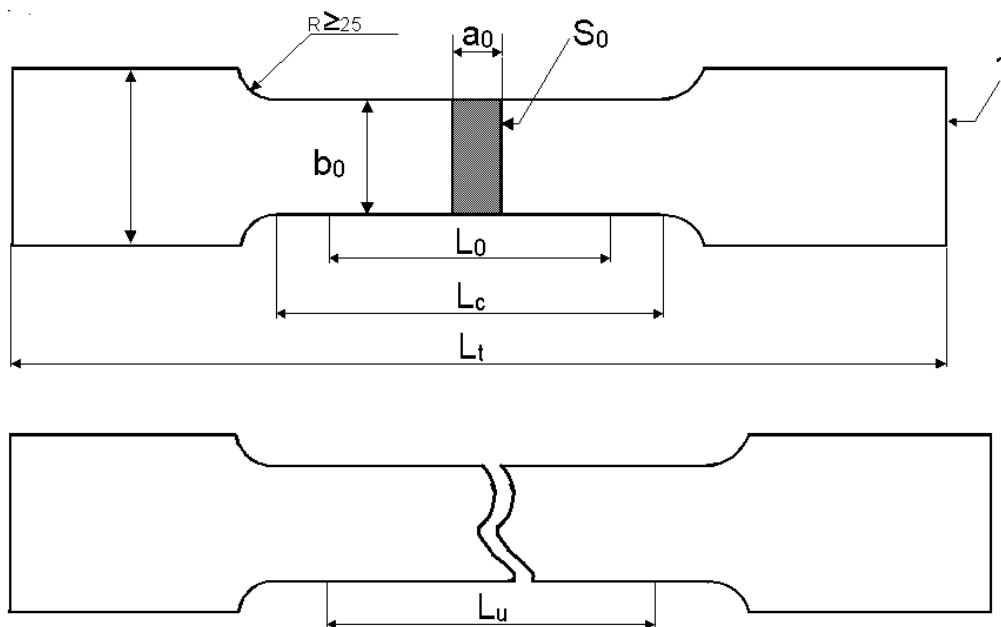
$$L_0 = k \cdot \sqrt{S_0} \quad (3)$$

gdzie

k - współczynnik proporcjonalności.

Najczęściej stosowaną wartością jest $k=5,65$. W przypadkach, gdy długość próbki będzie mniejsza niż 15 mm, można przyjąć wyższą wartość $k=11,3$ lub wykonać próbkę nieproporcjonalną.

W przypadku próbek nieproporcjonalnych, pierwotna długość skrajni L_0 nie zależy od pierwotnego pola przekroju poprzecznego S_0 .

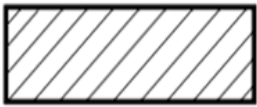
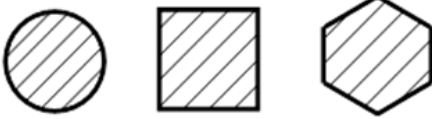


Rysunek 19: Próbka o przekroju prostokątnym [1].

- a_0 - pierwotna grubość płaskiej próbki testowej lub grubość ścianki rury
- b_0 - pierwotna szerokość równoległej długości płaskiej próbki testowej
- L_c - długość równoległa

L_0 - początkowa długość pomiarowa
 L_t - całkowita długość próbki testowej
 L_u - końcowa długość pomiarowa po zerwaniu
 S_0 - pierwotne pole przekroju równoległego
 1 - chwytno końce

Norma ISO 6892-1 zawiera również przykładowe wymiary, które mogą być stosowane dla różnych komponentów. Tabela 1 podsumowuje główne typy próbek testowych w zależności od typu produktu.

Rodzaj produktu		Tabela
Arkusze – Płyty - Płaskowniki	Druty – pręty – kształtowniki	
		
Grubość a, mm	Średnica lub bok mm	
$0,1 \leq a < 3$	-	Tabela 2
-	< 4	Tabela 3
$A \geq 3$	≥ 4	Tabela 4
Rury		Tabela 5

Tablica 1: Główne typy próbek testowych w zależności od typu produktu.

Typ próbki testowej	Szerokość b_0	Oryginalna długość skrajni L_0	Długość równoległa L_c		Wolna długość między uchwytami dla równoległych boków próbki testowej
			Minimum	Zalecane	
1	12.5 ± 1	50	57	75	87.5
2	20 ± 1	80	90	120	140
3	25 ± 1	50^1	60^1	-	Not defined
Tolerancja szerokości próbki testowej					
Nominalna szerokość próbki testowej		Tolerancja obróbki ²		Tolerancja kształtu ³	
12.5		± 0.05		0.06	
20		± 0.10		0.12	
25		± 0.10		0.12	

¹Stosunek L/b_{00} próbki typu 3 w porównaniu do próbek typu 1 i 2 jest bardzo niski. W rezultacie właściwości, zwłaszcza wydłużenie po zerwaniu, mierzone za pomocą tej próbki testowej, będą się różnić od innych typów próbek testowych.
²Tolerancje te mają zastosowanie do nominalnej szerokości badanej próbki, która ma być wykorzystana do obliczenia pierwotnego pola przekroju poprzecznego S_0 bez konieczności mierzenia szerokości każdej badanej próbki.
³Maksymalne odchylenie między pomiarami szerokości na całej równoległej długości L_c , badanej CZĘŚCI

Tabela 2: Wymiary i tolerancje próbek testowych dla cienkich produktów: arkuszy, pasków i płaskowników o grubości od 0,1 mm do 3 mm.

<p>1. Pierwotna długość skrajni, L_0, jest przyjmowana jako:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 200 mm \pm 2 mm 100 mm \pm 1 mm
<p>Odległość między uchwytami urządzenia powinna wynosić co najmniej $L_0 + 3b_0$, ale minimum $L +_0$ 20 mm.</p>
<p>Jeśli procentowe wydłużenie po zerwaniu nie ma być określone, można zastosować odległość między uchwytami wynoszącą co najmniej 50 mm.</p>
<p>Określić S_0 z dokładnością \pm 1% lub lepszą W przypadku produktów o okrągłym przekroju poprzecznym pierwotne pole przekroju poprzecznego można obliczyć na podstawie średniej arytmetycznej dwóch pomiarów przeprowadzonych w dwóch prostopadłych kierunkach.</p>
<p>2. Pierwotne pole przekroju poprzecznego, S_0, w milimetrach kwadratowych, można określić na podstawie masy O znanej długości i gęstości:</p> $S_0 = \frac{1000 \cdot m}{\rho \cdot L_t} \quad (4)$ <p>m, masa próbki testowej w gramach, ρ to gęstość w gramach na centymetr sześcienny badanego materiału, L_t jest całkowitą długością, w milimetrach, próbek testowych.</p>

Tabela 3: Wymiary i tolerancje próbek drutu, prętów i kształtowników o średnicy lub grubości mniejszej niż 4 mm

<p>1. Minimalny promień przejścia między chwytanymi końcami a długością równoległą powinien wynosić:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0,75d_0 gdzie d_0 jest średnicą równoległej długości dla cylindrycznej próbki testowej, - 0,12 mm dla innych próbek testowych.
<p>2. Przekrój próbki testowej może być: okrągły, kwadratowy, prostokątny lub inny,</p>
<p>3. W przypadku próbek o przekroju prostokątnym stosunek szerokości do grubości nie powinien przekraczać 8:1.</p>
<p>4. Średnica równoległej długości obrobionej cylindrycznej próbki testowej nie powinna być mniejsza niż 3 mm.</p>
<p>5. Długość równoległa, L_c, powinna być co najmniej równa:</p> $L_0 + \left(\frac{d_0}{2}\right) \text{ for cylindrical tes piece}$ $L_0 + 1.5\sqrt{S_0} \text{ for proportional test pieces other than cylindrical tes pieces}$ $L_0 + \left(\frac{b_0}{2}\right) \text{ for non - proportional tes pieces}$ <p>W przypadku sporu, długość $L + 2d_{00}$ lub $L + 2_0\sqrt{S_0}$ w zależności od typu badanego elementu, chyba że nie ma wystarczającej ilości materiału.</p>
<p>6. Wolna długość między uchwytami urządzenia powinna być odpowiednia, aby znaczniki znajdowały się w odległości co najmniej $\sqrt{S_0}$ od uchwytów.</p>

7. Zasadniczo stosuje się proporcjonalne próbki testowe, gdzie L_0 jest związane z pierwotnym polem przekroju poprzecznego S_0 , $L_0 = k\sqrt{S_0}$ gdzie k jest równe 5,65. Alternatywnie, wartość k może wynosić 11,3.

Próbki testowe o przekroju kołowym

Współczynnik proporcjonalności, k	Średnica, d , mm	Oryginalna długość pomiarowa, $L_0 = k\sqrt{S_0}$, mm	Minimalna długość równoległa, L_c , mm
5,65	20	100	110
	14	70	77
	10	50	55
	5	25	28

Nieproporcjonalne części testowe

Nieproporcjonalne próbki testowe mogą być używane, jeśli jest to określone w normie produktu.

Długość równoległa, L_c , nie powinna być mniejsza niż $L_0 + b / 2.0$

W przypadku sporu należy zastosować długość równoległą $L = L_{c0} + 2b_0$, chyba że materiał jest niewystarczający.

Typowe wymiary płaskiej próbki testowej

Szerokość, b_0 , mm	Oryginalna długość pomiarowa, L_0 , mm	Minimalna długość równoległa L_c , mm	W przybliżeniu całkowita długość L_t , mm
40 ± 0.7	200	220	450
25 ± 0.7	200	212,5	450
20 ± 0.5	80	90	300

Tabela 3: Wymiary i tolerancje próbek do badań dla blach i płaskowników o grubości równej lub większej niż 3 mm oraz drutów, prętów i kształtowników o średnicy lub grubości równej lub większej niż 4 mm.

- Długość rury może być zaślepiona na obu końcach. Wolna długość między każdym korkiem a najbliższymi znakami pomiarowa powinna być większa niż $D_0 / 4$. W przypadku sporu należy zastosować wartość D_0 , jeśli jest wystarczająca ilość materiału.
- Długość zatyczki wystającej poza uchwyty maszyny w kierunku znaczników pomiarowa nie powinna przekraczać D_0 , a jej kształt powinien być taki, aby nie przeszkadzał w odkształcaniu długości pomiarowa.
- Równoległa długość L_c , podłużnych pasów nie może być spłaszczona, ale głowice mogą być spłaszczone w celu uchwycenia w maszynie testującej.
- S_0 dla badanej próbki należy określić z dokładnością $\pm 1\%$ lub lepszą.
- Pierwotne pole przekroju poprzecznego, S_0 , w milimetrach kwadratowych, długości rury lub taśmy podłużnej lub poprzecznej można określić na podstawie masy próbki testowej, której długość została zmierzona oraz na podstawie jej gęstości:

$$S_0 = \frac{1000 \cdot m}{\rho \cdot L_t} \quad (4)$$

m , masa próbki testowej w gramach,

ρ to gęstość w gramach na centymetr sześcienny badanego materiału,

L_t jest całkowitą długością, w milimetrach, części testowych.

<p>6. Pierwotne pole przekroju poprzecznego S_0, próbki testowej składającej się z próbki wzdłużnej oblicza się zgodnie z poniższym wzorem:</p> $S_0 = \frac{b_0}{4} (D_0^2 - b_0^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{D_0^2}{4} \arcsin\left(\frac{b_0}{D_0}\right) - \frac{b_0}{4} [(D_0 - 2a_0)^2 - b_0^2]^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{D_0 - 2a_0}{2}\right)^2 \arcsin\left(\frac{b_0}{D_0 - 2a_0}\right) \quad (5)$
<p>7. Uproszczona formuła może być stosowana do wzdłużnych próbek testowych, w których stosunek szerokości do zewnętrznej średnicy rury spada poniżej ustalonych limitów:</p> $S_0 = a_0 b_0 \left[1 + \frac{b_0^2}{6D_0(D_0 - 2a_0)} \right] \quad \text{if } \frac{b_0}{D_0} < 0.25 \quad (6)$ $S_0 = a_0 b_0 \quad \text{if } \frac{b_0}{D_0} < 0.10 \quad (7)$
<p>8. Dla długości rury pierwotne pole przekroju poprzecznego S_0 oblicza się z wzoru</p> $S_0 = \pi a_0 (D_0 - a_0) \quad (8)$

Tabela 4: Wymiary i tolerancje elementów testowych dla rur.

2.1.5. Warunki testu

a) Zerowanie układu

System pomiaru siły powinien być ustawiony na zero po zmontowaniu testowego zestawu obciążeniowego, ale przed faktycznym uchwyceniem badanego elementu na obu końcach. Po ustawieniu punktu zerowego siły, system pomiaru siły nie może być w żaden sposób zmieniany podczas testu.

b) Metoda chwytania

Próbki testowe powinny być chwyte za pomocą odpowiednich środków, takich jak kliny, uchwyty śrubowe, równoległe powierzchnie szczęk lub uchwyt łopatkowy.

Należy dołożyć wszelkich starań, aby próbki testowe były trzymane w taki sposób, aby siła była przyłożona możliwie osiowo w celu zminimalizowania zginania. Ma to szczególne znaczenie podczas badania materiałów kruchych lub podczas określania wytrzymałości próbnej (wydłużenie plastyczne), wytrzymałości próbnej (wydłużenie całkowite) lub granicy plastyczności.

W celu zapewnienia wyrównania z badaną próbką i układem uchwytu, można zastosować wstępną siłę, pod warunkiem, że nie przekracza ona wartości odpowiadającej 5% określonej lub oczekiwanej granicy plastyczności. Należy przeprowadzić korektę wydłużenia, aby uwzględnić wpływ siły wstępnej.

c) Wskaźniki testowania

O ile nie uzgodniono inaczej, wybór metody (A1, A2 lub B) i szybkości testu zależy od normy lub laboratorium testowego wyznaczonego przez producenta.

Metoda A - Szybkość testowania oparta na szybkości odkształcania

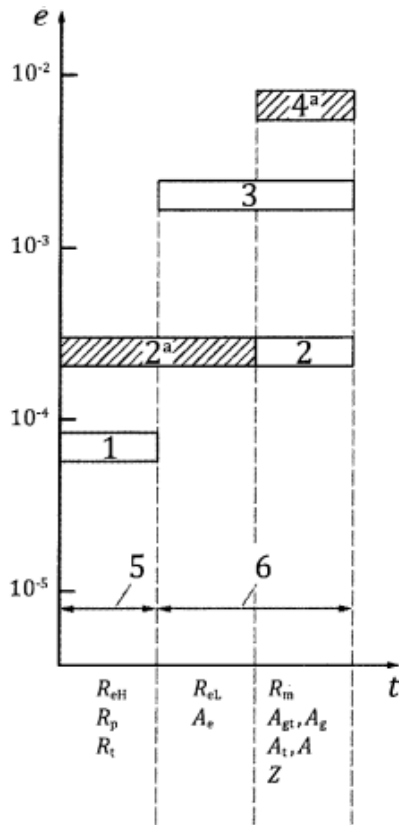
Metoda ta ma na celu zminimalizowanie zmienności szybkości testu w momencie określania parametrów wrażliwych na szybkość odkształcania oraz zminimalizowanie i zminimalizowanie niepewności pomiaru wyników testu.

Istnieją dwa różne rodzaje kontroli szybkości odkształcania:

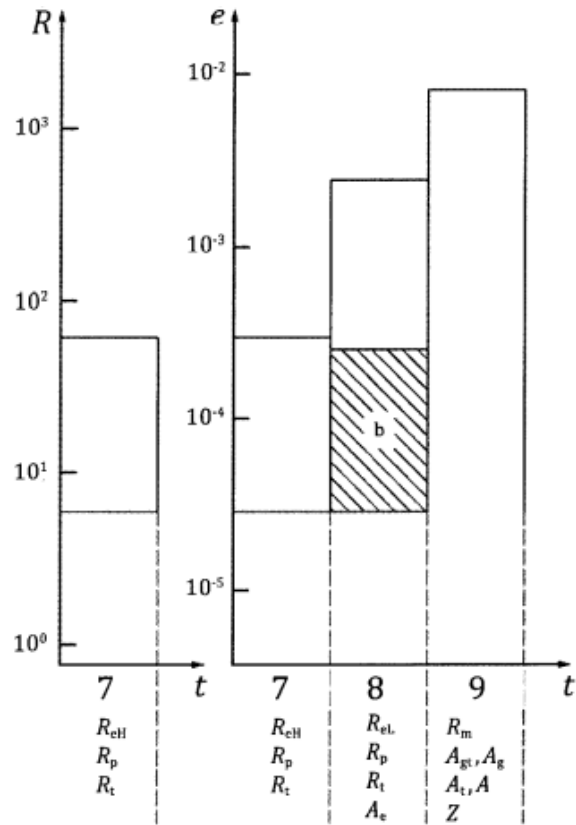
A1 - pętla zamknięta obejmuje kontrolę samego tempa odkształcania, $\dot{\epsilon}_{Le}$ która opiera się na sprzężeniu zwrotnym uzyskanym z tensometru.

A2 - otwarta pętla obejmuje kontrolę szacowanej prędkości odkształcania na długości równoległej $\dot{\epsilon}_{c,co}$ uzyskuje się poprzez zastosowanie współczynnika separacji trawersy obliczonego poprzez pomnożenie wymaganego współczynnika odkształcania przez długość równoległą.

Szybkość odkształcania powinna być utrzymywana podczas określania odpowiedniej właściwości materiału.



a) Method A



b) Method B

Key

$\dot{\epsilon}$ strain rate, in s^{-1}

\dot{R} stress rate, in $MPa s^{-1}$

t time

1 range 1: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 07\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$

2 range 2: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$

3 range 3: $\dot{\epsilon} = 0,002\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$

4 range 4: $\dot{\epsilon} = 0,006\ 7\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$ ($0,4\ min^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$)

5 control mode: extensometer control (Method A1 closed loop) or crosshead control (Method A2 open loop)

6 control mode: crosshead control (Method A2 open loop)

7 elastic range of the test

8 plastic range for the determination of R_{eL} , R_p , R_t , A_e

9 maximum strain rate for the determination of R_m , A_{gt} , A_g , A_t , A , Z

a Recommended.

b Expanded range to lower rates, if testing machine is not capable of measuring or controlling the strain rate (see 10.3.3.2.5).

NOTE 1 Symbols refer to Table 1.

NOTE 2 Strain rate in the elastic range for method B is calculated from stress rate using a Young's modulus of 210 000 MPa (steel).

Rysunek 20: Ilustracja szybkości odkształcania stosowanych podczas próby rozciągania (metoda A).

Method B – Testing rate based on stress rate

The testing rates shall conform to the following requirements depending on the nature of the material. Unless otherwise specified, any convenient speed of testing may be used up to a stress equivalent to half of the specified yield strength.

- Górna granica plastyczności, R_{eH}
Szybkość rozdzielania poprzeczek maszyny powinna być utrzymywana na możliwie stałym poziomie i w granicach odpowiadających wartościom naprężeń:

Moduł sprężystości materiału E MPa	Wskaźnik stresu \dot{R} MPa s ⁻¹	
	min.	maks.
<150 000	2	20
≥150 000	6	60

Tabela 5: Wskaźnik stresu.

- Niższa granica plastyczności, R_{eL}
Jeśli określana jest tylko dolna granica plastyczności, szybkość odkształcenia podczas plastyczności równoległej długości badanej próbki powinna być pomiędzy:
0,0 25 s⁻¹ i 0,002 5 s⁻¹
Szybkość odkształcenia na długości równoległej powinna być utrzymywana na możliwie stałym poziomie. Jeśli szybkość ta nie może być regulowana bezpośrednio, powinna być ustalona poprzez regulację szybkości naprężenia tuż przed rozpoczęciem plastyczności, a sterowanie maszyną nie powinno być dalej regulowane aż do zakończenia plastyczności.

W przypadku, gdy prędkość taśmy w zakresie elastycznym przekracza maksymalne wartości podane w Tabeli 6.

d) Określenie górnej i dolnej granicy plastyczności, R_{eH} , R_{eL}

R_{eH} , R_{eL} można określić na podstawie krzywej siła-rozciąganie lub wskaźnika obciążenia szczytowego zgodnie z rysunkiem 17. Wartość jest obliczana przez podzielenie siły przez pierwotne pole przekroju poprzecznego badanej próbki, S_0 .

e) Określenie wytrzymałości próbnej, wydłużenia plastycznego, R_p

R_p określa się na podstawie krzywej siła-rozciąganie, rysując linię równoległą do liniowej części krzywej i w odległości od niej równoważnej zalecanemu procentowemu wydłużeniu plastycznemu, np. 0,2%. Punkt, w którym ta linia przecina krzywą, daje siłę odpowiadającą pożądanemu wydłużeniu plastycznemu wytrzymałości próbnej (rysunek 15). Ta ostatnia jest uzyskiwana przez podzielenie tej siły przez pierwotne pole przekroju poprzecznego próbki, S_0 .

f) Określenie wytrzymałości próbnej, wydłużenia całkowitego, R_t

R_t określa się na podstawie krzywej siła-rozciąganie, rysując linię równoległą do osi rzędnych (oś siły) i w odległości od niej równoważnej zalecanemu całkowitemu wydłużeniu procentowemu. Punkt, w którym ta linia przecina krzywą, daje siłę odpowiadającą żądanej wytrzymałości na rozciąganie (rysunek 16). Wartość ta jest obliczana przez podzielenie tej siły przez pierwotną powierzchnię przekroju poprzecznego próbki, S_0 .

2.1.6. Opis testu (krok po kroku)

- a) Przygotowanie próbek zgodnie z punktem 3.2 normy
 - Próbki powinny zostać poddane oględzinom, a obecność jakichkolwiek niedoskonałości na powierzchni pomiarowej powinna zostać odnotowana w raporcie z testu.
 - Zmierzyć wymiary próbki zgodnie z punktem 3.2 normy.
 - Określić podstawy pomiaru na próbce zgodnie z wytycznymi w punkcie 3.1 normy.

- b) Przygotowanie maszyny testującej
 - sprawdzić zerowe położenie siłomierzy (punkt 3.3 a))
 - wybrać wytrzymałość na rozciąganie (punkt 3.3 c))
 - umieścić próbkę w urządzeniu

- c) Przeprowadzenie próby rozciągania
 - Test należy przeprowadzić zgodnie z postanowieniami normy ISO 6892-1 oraz wytycznymi podanymi w niniejszym dokumencie.
 - Metoda testowania na poszczególnych maszynach zależy od dostępnego sprzętu. Należy dostarczyć instrukcje obsługi dla dostępnej maszyny.

- d) Raport z testów

Raport z testów powinien zawierać co najmniej następujące informacje, chyba że zainteresowane strony uzgodniły inaczej:

 - Odniesienie do normy lub niniejszego dokumentu, rozszerzone o informacje o warunkach testu,
 - Identyfikacja części testowej
 - Określony materiał, jeśli jest znany
 - Typ próbki testowej
 - Lokalizacja i kierunek pobierania próbek z badanej próbki, jeśli są znane

- Tryb sterowania testem i szybkość testowania lub zakres szybkości testowania, jeśli różni się od zalecanych metod (A lub B)
- Wyniki testów (wyniki powinny być zaokrąglone do następujących dokładności lub lepszych, jeśli nie określono inaczej w normach dotyczących produktu: wartości wytrzymałości w MPa z dokładnością do najbliższej liczby całkowitej, procentowe wartości granicy plastyczności Ae, z dokładnością do 0,1%, wszystkie inne procentowe wartości wydłużenia i wydłużenia z dokładnością do 0,5%, procentowe zmniejszenie powierzchni Z, z dokładnością do 1%.

2.1.7. Przytoczone normy

[1] EN ISO 6892-1: "Materiały metalowe. Próba rozciągania. Metoda badania w temperaturze pokojowej"

[2] EN ISO 6892-2: "Materiały metalowe. Próba rozciągania. Metoda badania w podwyższonej temperaturze"

[3] ASTM E8: "Standardowe metody badania wytrzymałości na rozciąganie materiałów metalowych".

2.2. Próba rozciągania złączy spawanych ze spoinami czołowymi, krzyżowymi, zakładkowymi i pachwinowymi

2.2.1. Wstęp

Połączenia spawane są szeroko stosowane w różnych branżach, takich jak budownictwo, produkcja i transport. Właściwości mechaniczne połączeń spawanych mają kluczowe znaczenie dla określenia integralności strukturalnej i bezpieczeństwa komponentów, w których są stosowane. Próba rozciągania złączy spawanych jest jednym z najważniejszych testów niszczących w przemyśle spawalniczym. Jest ona wykorzystywana głównie do celów kwalifikacji specyfikacji procedur spawalniczych zgodnie z normami takimi jak EN ISO 15614 oraz ASME BPVC sekcja IX. Jednak kwalifikacja procedur spawalniczych to nie jedyne zastosowanie próby rozciągania w przemyśle spawalniczym. Próba rozciągania może być również wykorzystywana do weryfikacji właściwości mechanicznych materiałów spawalniczych lub do potwierdzenia jakości złącza spawanego w produkcji zgodnie np. ze specyfikacją produktu.

Zasada badania jest taka sama jak w przypadku próby rozciągania materiałów metalowych, dlatego o ile nie określono inaczej dla poszczególnych punktów, zastosowanie mają ogólne zasady normy EN ISO 6892-1 [1] i EN ISO 6892-2 [2]. Zasady te zostały omówione w rozdziale 2.1 niniejszego podręcznika.

Istnieje kilka rodzajów prób rozciągania połączeń spawanych. Zależą one głównie od rodzaju złącza. W tym rozdziale omówione zostaną niektóre z najpopularniejszych typów:

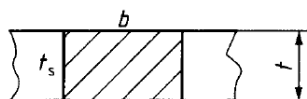
- Próba poprzecznego rozciągania złączy spawanych
- Wzdłużna próba rozciągania spoiny
- Próba rozciągania połączeń krzyżowych i zakładkowych

Główne różnice między tymi testami to lokalizacja próbki, geometria próbki i raportowane wyniki testów.

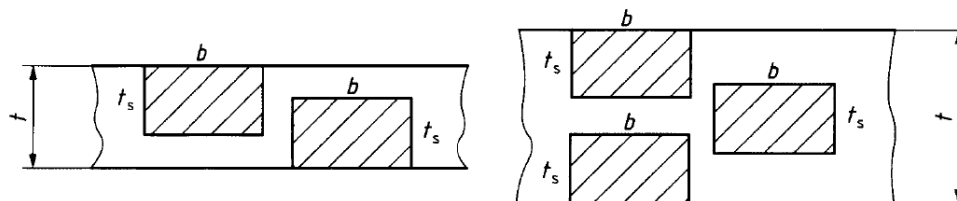
2.2.2. Próba rozciągania połączeń (EN ISO 4136)

Próbka powinna być pobrana poprzecznie od złącza spawanego w taki sposób, aby po obróbce oś spoiny pozostawała w środku równoległej długości próbki. W przypadku rur o małych średnicach próba może być przeprowadzona na całej rurze, jeśli nie jest to określone w normach stosowania lub uzgodnione między umawiającymi się stronami, "małe średnice" oznaczają $D \leq 50$ mm. Procesy stosowane do ekstrakcji próbki do badań nie powinny w żaden sposób zmieniać właściwości próbki do badań. Ostateczna równoległa długość próbki testowej powinna być poddana obróbce mechanicznej (piłowanie, frezowanie, cięcie strumieniem wody) lub szlifowaniu. Powierzchnie powinny być wolne od zadrapań lub nacięć poprzecznych do kierunku próbki na długości równoległej, L_c , z wyjątkiem podcięć, które nie powinny być usuwane, chyba że jest to wymagane przez odpowiednią normę zastosowania. O ile nie określono inaczej, cały nadmiar spoiny powinien zostać usunięty, z wyjątkiem ściegu przetopowego w rurach o pełnym przekroju. Grubość próbki do badań powinna być stała wzdłuż równoległej długości, kształt i wymiary powinny być zgodne z podanymi w Tabeli 7 z odniesieniem do symboli podanych na Rysunku 22. Wymiary próbek do badań rur o pełnym przekroju pokazano na rysunku 23.

Ogólnie rzecz biorąc, grubość próbki do badań t_s powinna być równa grubości metalu rodzimego w pobliżu złącza spawanego, jednak w przypadkach, gdy wymagane jest badanie pełnej grubości > 30 mm, można pobrać kilka próbek do badań, aby pokryć pełną grubość złącza (patrz rysunek 21).



a) Full section test



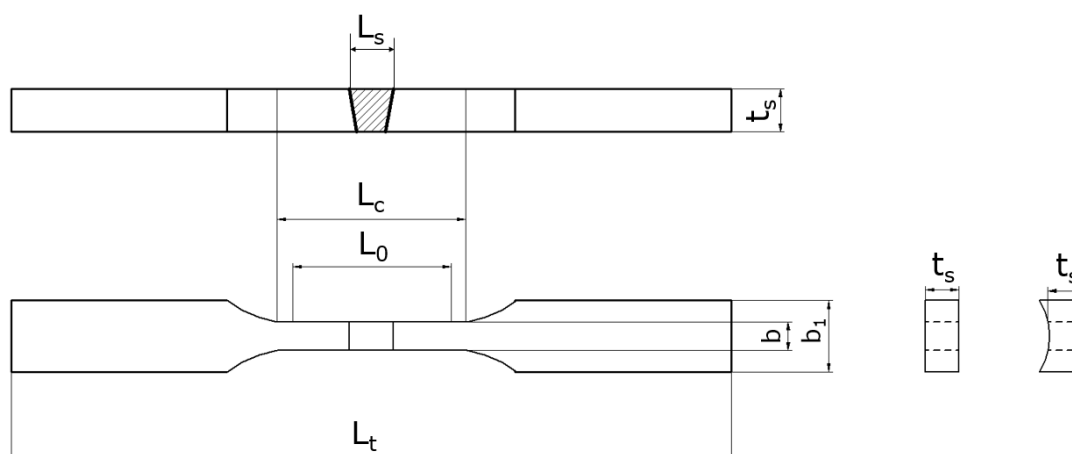
b) Multi specimen test

Rysunek 21: Przykłady rozmieszczenia próbek testowych w złączach. Próbki mogą zachodzić na siebie.

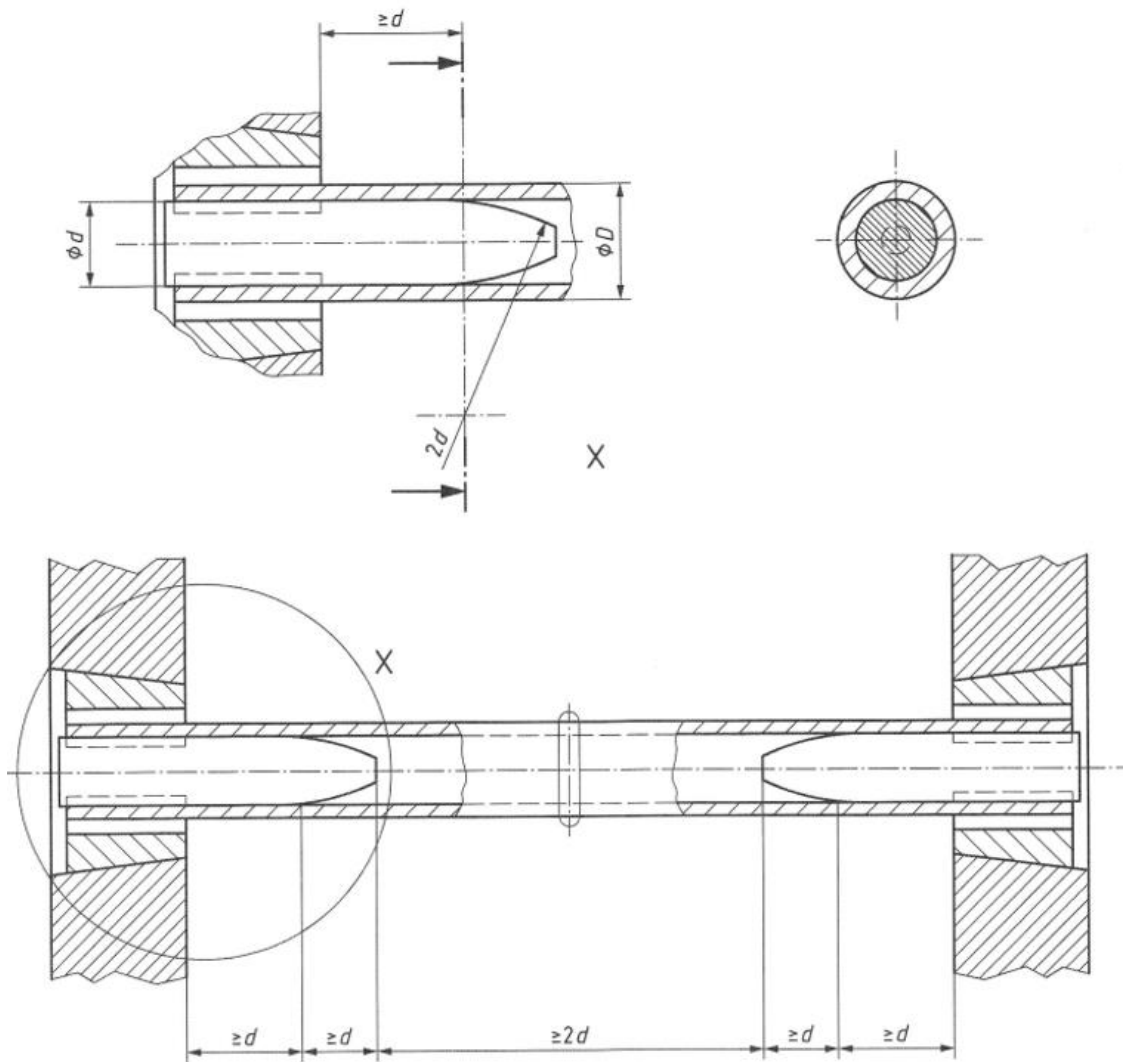
Wyznanie	Symbol	Wymiar w mm
Całkowita długość badanej próbki	L_t	dostosowany do konkretnej maszyny testującej
Szerokość ramienia	b_1	$b+12$
Szerokość długości równoległej	płyty	12 dla $t_s \leq 2$ 25 dla $t_s > 2$
	rury	6 dla $D \leq 50$ 12 dla $50 < D \leq 168,3$ 25 dla $D > 168,3$
Długość równoległa	L_c	$\geq L_s + 60$
Promień na ramieniu ^{a b}	r	≥ 25

^a W przypadku zgrzewania ciśnieniowego i spawania wiązką (grupy procesów 2, 4 i 5 zgodnie z ISO 4063, $L_s = 0$.)
^b W przypadku niektórych innych materiałów metalowych (np. aluminium, miedzi i ich stopów) konieczne może być $L_c \geq L_s + 100$

Tabela 6: Wymiary płyt i rur.



Rysunek 22: Próbką testowa dla płyt lub rur.



Rysunek 23: Próbkę testowa dla rury o pełnym przekroju.

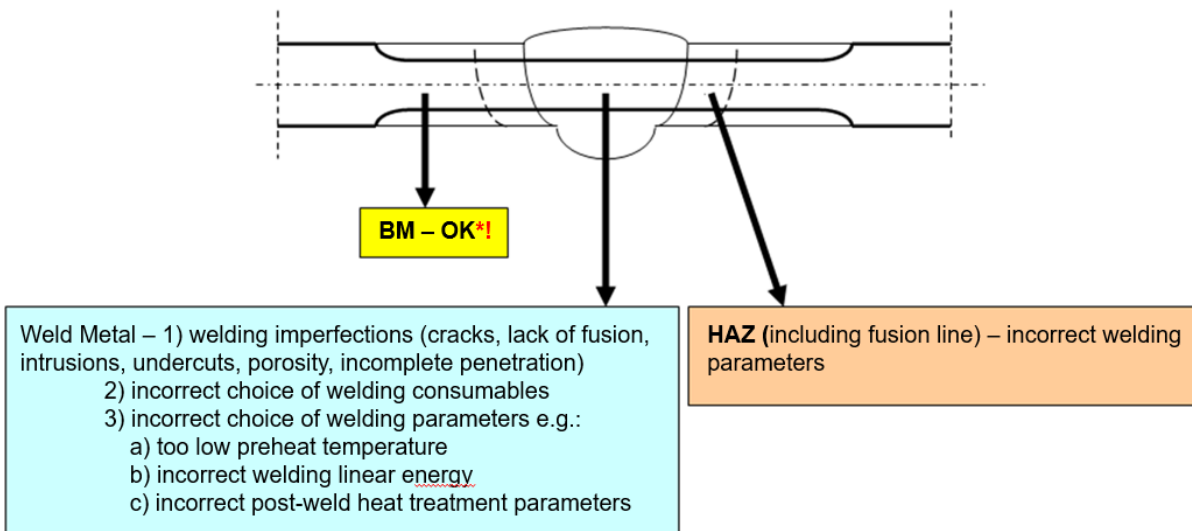
Próbkę należy obciążać stopniowo i w sposób ciągły aż do pęknięcia zgodnie z normą ISO 6892-1. Wyniki próby obejmują wytrzymałość na rozciąganie złącza spawanego R_m , określoną zgodnie z normą ISO 6892-1 oraz lokalizację pęknięcia. Pęknięcie może wystąpić w jednym z trzech materiałów: metalu spoiny, strefie wpływu ciepła (HAZ) lub metalu rodzimym. Jeśli to konieczne, aby pomóc w lokalizacji spoiny i strefy wpływu ciepła, bok próbki może być wytrawiony w skali makro. Pożądanym rezultatem jest pęknięcie materiału rodzimego i osiągnięcie wytrzymałości na rozciąganie co najmniej równej wytrzymałości na rozciąganie materiału rodzimego. Jeśli pęknięcie próbki nastąpi w spoinie lub strefie wpływu ciepła i zostanie osiągnięta odpowiednia wytrzymałość na rozciąganie, wynik testu jest również pozytywny. Rysunek 24 przedstawia schemat złącza z możliwymi przyczynami pęknięcia próbki w spoinie lub strefie wpływu ciepła.

Po pęknięciu badanej próbki należy zbadać pęknięte powierzchnie i odnotować istnienie wszelkich niedoskonałości, które mogły mieć negatywny wpływ na badanie, w tym ich rodzaj, rozmiar i ilość.

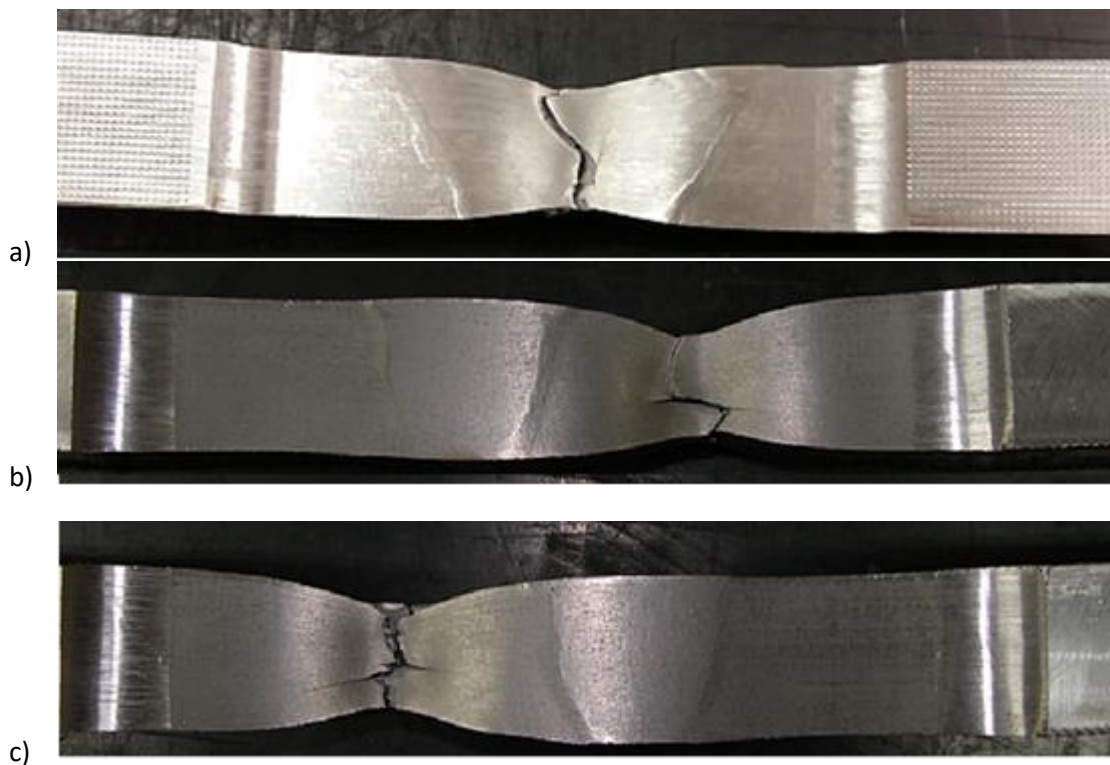
Raport z testu powinien zawierać następujące informacje:

- odniesienie do normy ISO 4136,
- typ i lokalizacja próbki testowej,

- temperatura testowa,
- wyniki testu,
- lokalizacja złamania,
- rodzaj i wymiary zaobserwowanych niedoskonałości.



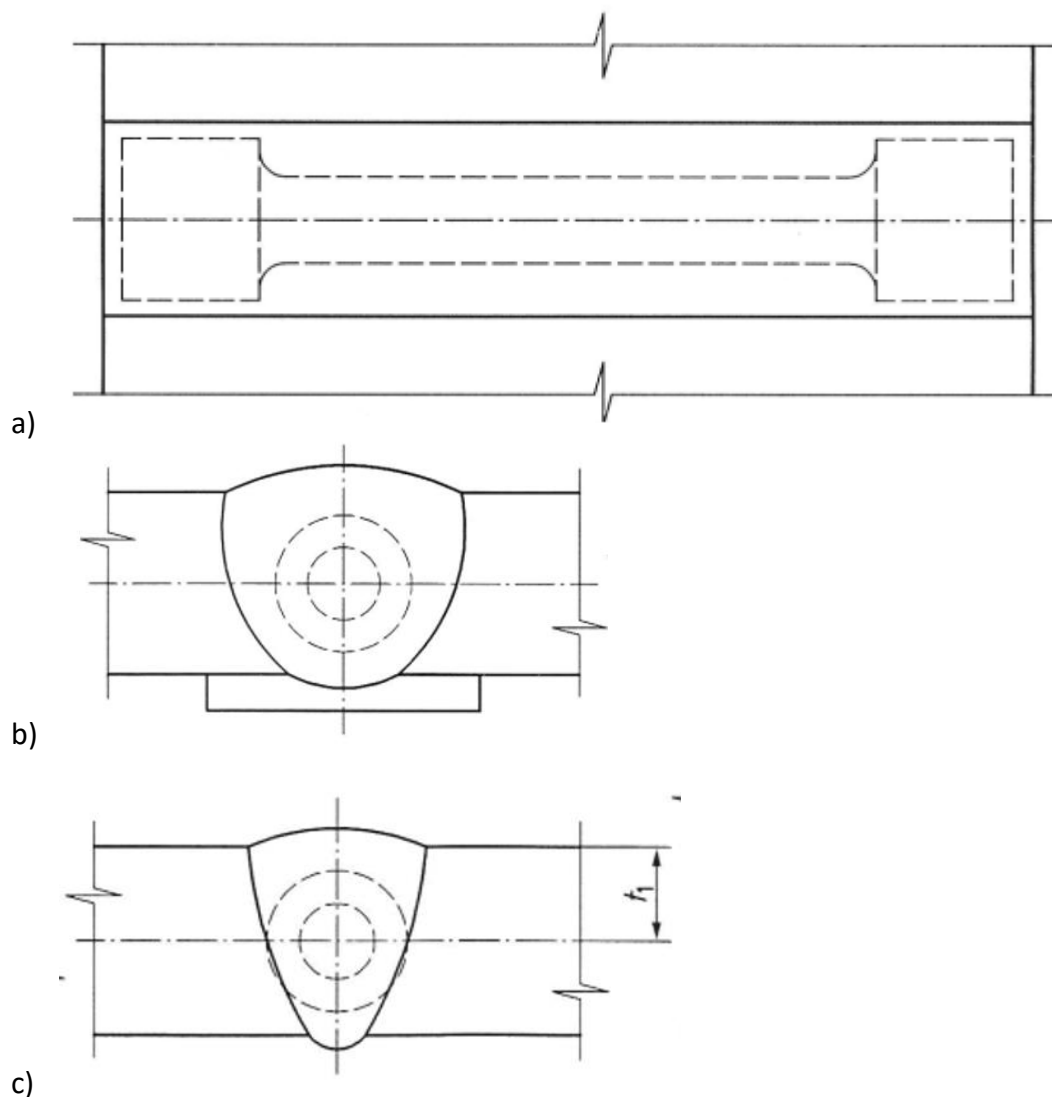
Rysunek 24: Schemat złącza w próbce. Możliwe przyczyny pęknięcia w spoinie lub strefie wpływu ciepła.

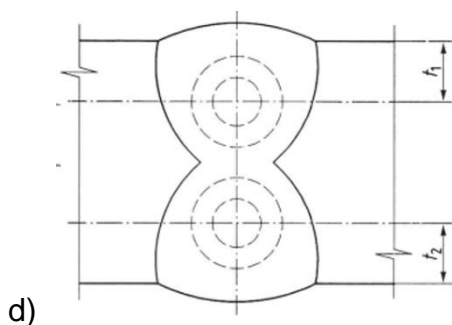


Rysunek 25: Przykłady próbek po pęknięciu.

2.2.3. Wzdłużna próba rozciągania metalu spoiny (EN ISO 5178)

Próbka do badań powinna być pobrana wzdłużnie ze złącza spawanego wytworzonego produktu lub z próbki do badań. Po obróbce skrawaniem równoległa długość próbki powinna składać się wyłącznie z metalu spoiny. Aby umożliwić prawidłowe umieszczenie próbki w złączu, przekrój poprzeczny złącza na obu końcach próbki może być wytrawiony w skali makro. O ile nie określono inaczej w konkretnej normie aplikacyjnej dotyczącej badanego złącza spawanego, próbki do badań powinny być pobierane ze środka metalu spoiny, jak pokazano na rysunku 26. W przypadku, gdy próbka nie jest pobierana z połowy grubości, należy zapisać odległość od powierzchni, t_1 . W przypadku bardzo grubych lub dwustronnych złączy spawanych można pobrać więcej niż jedną próbkę w różnych miejscach na grubości, w którym to przypadku należy zapisać odległości, t_1 i t_2 , każdej próbki w przekroju poprzecznym złącza.





Rysunek 26: Przykłady umiejscowienia próbek do badań: a) przekrój wzdłużny płaski, b) próbka metalowa w całości spawana do klasyfikacji materiałów spawalniczych, c) próbka ze złącza spawanego jednostronnie, d) próbka ze złącza spawanego dwustronnie.

Każda próbka do badań powinna mieć przekrój kołowy, a jej wymiary, wyrażone jako funkcje średnicy, d_0 , długości równoległej, powinny być zgodne z normą ISO 6892-1. Jeśli to możliwe, średnica d_0 powinna mieć wymiar 10 mm. Jeśli nie jest to możliwe, średnica powinna być jak największa, ale nie mniejsza niż 4 mm. Uchwycone końce próbek nie są opisane w normach ISO 5178, dlatego powinny być kompatybilne z używaną maszyną do prób rozciągania.

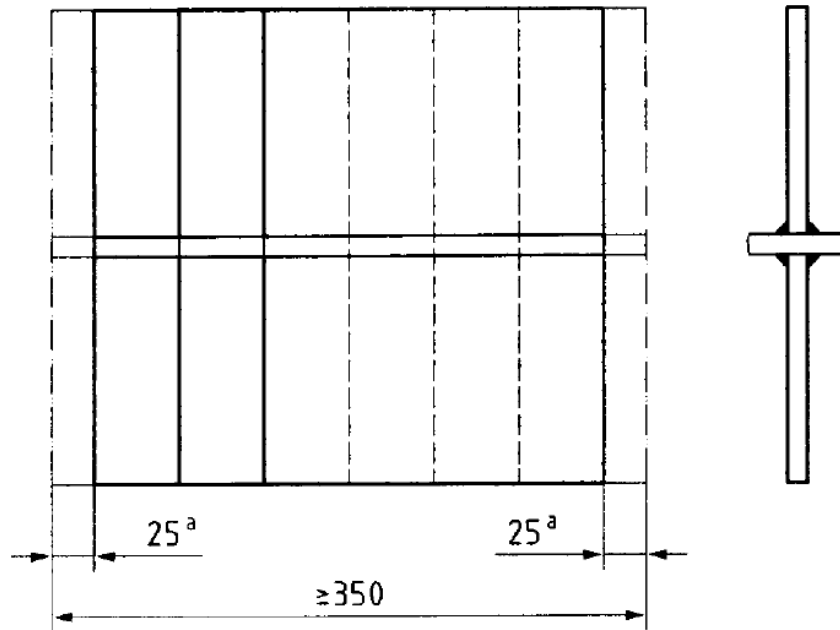
Próbka powinna być obciążana stopniowo i w sposób ciągły do momentu pęknięcia, a wynik próby powinien być określony zgodnie z normą ISO 6892-1. Ponieważ próbka składa się tylko z metalu spoiny (w przeciwieństwie do poprzecznej próby rozciągania, w której składa się z metalu spoiny, strefy wpływu ciepła i metalu rodzimego), wynik próby powinien składać się z wytrzymałości na rozciąganie plastyczne R_p (lub granicy plastyczności R_e , wytrzymałości na rozciąganie całkowite R_t), wytrzymałości na rozciąganie R_m , wydłużenia po zerwaniu A i zmniejszenia powierzchni Z . Po zerwaniu próbki należy zbadać pęknięte powierzchnie i odnotować istnienie wszelkich niedoskonałości, które mogły niekorzystnie wpłynąć na badanie, w tym ich rodzaj, rozmiar i ilość.

Raport z testu powinien zawierać następujące informacje:

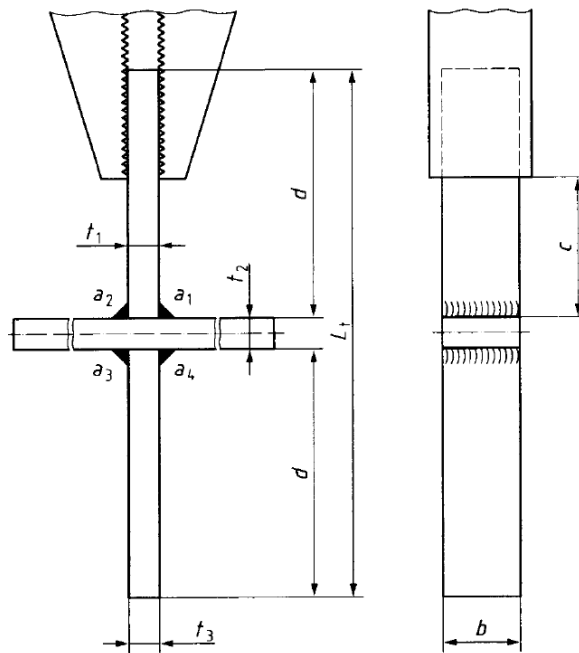
- odniesienie do normy ISO 4136,
- typ i lokalizacja próbki testowej,
- temperatura testowa,
- wyniki testu,
- lokalizacja złamania,
- rodzaj i wymiary zaobserwowanych niedoskonałości
- średnica d_0 .

2.2.4. Próba rozciągania połączeń krzyżowych i zakładkowych (EN ISO 9018)

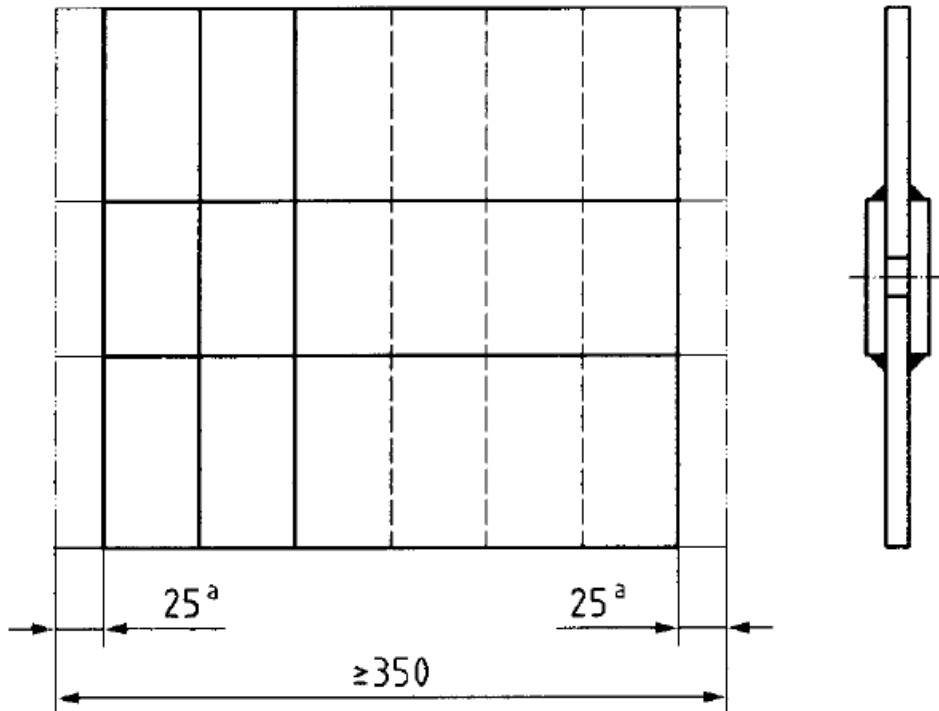
Norma ta opisuje próbę rozciągania dla dwóch rodzajów połączeń: krzyżowego i zakładkowego. Oba typy połączeń składają się z kilku spoin pachwinowych, które należy zmierzyć przed badaniem. Lokalizację i geometrię wraz z wymiarami próbek przedstawiono na rysunkach od 27 do 31.



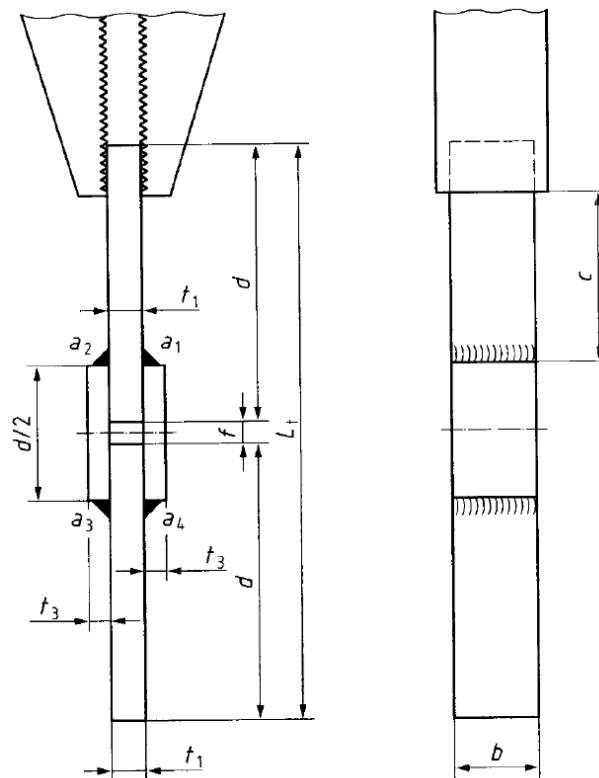
Rysunek 27: Lokalizacja próbki z połączenia krzyżowego. a Końcówki należy odrzucić.



Rysunek 28: Próbką testowa złącza krzyżowego.



Rysunek 29: Położenie próbki z połączenia zakładkowego. *a* Końcówki należy odrzucić.



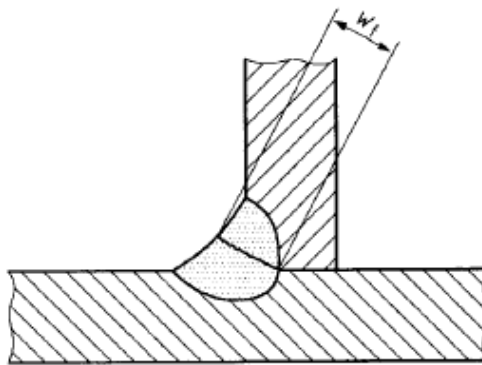
Rysunek 30: Próbką testowa połączenia docieranego.

Przed badaniem należy zmierzyć i zapisać wymiary próbek. Próbkę powinna być obciążana stopniowo i w sposób ciągły w kierunku prostopadłym do osi spoiny, aż do momentu pęknięcia. Prędkość obciążenia powinna być jak najbardziej równomierna, a próba powinna przebiegać stopniowo i bez gwałtownych zmian.

Po przeprowadzeniu testów należy zmierzyć i zarejestrować następujące parametry:

- temperatura testowa, T ,
- należy zbadać powierzchnie pęknięć i obecność wszelkich niedoskonałości, w tym ich rodzaj, rozmiar i ilość,
- średnią szerokość powierzchni pęknięcia w_f określa się poprzez pomiar w kilku punktach w poprzek pęknięcia w odstępie około $3 \times a$ i podzielenie przez całkowitą liczbę pomiarów,
- wytrzymałość na rozciąganie R_m , obliczona jako stosunek maksymalnego obciążenia F_m , przenieszonego przez próbkę podczas badania i obszaru pęknięcia A_f wyrażonego w MPa.

Szerokość powierzchni pęknięcia należy zmierzyć zgodnie z rysunkiem 31.



Rysunek 31: Definicja szerokości powierzchni pęknięcia.

Powierzchnię pęknięcia A_f oblicza się według wzoru:

$$A_f = w_f * b \quad (1)$$

Raport z testu powinien zawierać następujące informacje:

- odniesienie do ISO 9018,
- data testu,
- szczegóły dotyczące egzaminatora lub jednostki badawczej,
- wymiary próbki przed pęknięciem (a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , t_1 , t_2 , t_3 , b),
- ilość niewspółosiowości i zniekształceń kątowych,
- lokalizacja złamania,
- lokalizacja, rodzaj, rozmiar i ilość wszelkich niedoskonałości,
- średnia szerokość pęknięcia Powierzchnia w_f ,
- wytrzymałość na rozciąganie R_m ,
- obciążenie na jednostkę długości F/b , m
- temperatura testowa,
- szczegóły dotyczące obróbki cieplnej zgodnie z odpowiednią normą aplikacji.

2.2.5. Przytoczone normy

- [1] EN ISO 6892-1: "Materiały metalowe. Próba rozciągania. Metoda badania w temperaturze pokojowej".
- [2] EN ISO 6892-2: "Materiały metalowe. Próba rozciągania. Metoda badania w podwyższonej temperaturze".
- [3] EN ISO 4136: "Badania niszczące spoin w materiałach metalowych. Próba rozciągania poprzecznego".
- [4] EN ISO 5178: "Badania niszczące spoin w materiałach metalowych. Wzdłużna próba rozciągania metalu spoiny w złączach spawanych".
- [5] EN ISO 9018: "Badania niszczące spoin materiałów metalowych. Próba rozciągania na złączach krzyżowych i zakładkowych".

2.3. Próba zginania metali i złączy spawanych

2.3.1. Wprowadzenie

Próba zginania jest prostym i bardzo ważnym testem służącym do oceny plastyczności i braku niedoskonałości złącza spawanego lub okładziny wykonanej w dowolnym procesie spawania łukiem elektrycznym. Rejestrowanie obciążenia i ugięcia (lub przemieszczenia) podczas testu nie jest konieczne, a po wykonaniu testu przeprowadzana jest jedynie kontrola wzrokowa. Jedynym mierzalnym punktem odniesienia jest wydłużenie; taki wynik jest obliczany na podstawie różnicy między pomiarem odniesienia przed (początkowym) i po teście, a następnie taka różnica jest dzielona przez początkowe odniesienie w celu uzyskania wartości procentowej. Zazwyczaj próba zginania jest wykonywana na 4 próbkach, pobranych z określoną orientacją na podstawie normy aplikacji lub w drodze porozumienia między stronami umowy. Zasadniczo próba zginania jest kluczowym testem kwalifikującym proces spawania na zasadzie "go no-go".

W tym rozdziale przedstawiono i opisano standardową metodę testową do przeprowadzania testu zginania (ISO 5173).

2.3.2. Przytoczone normy

- ISO 5173 Badania niszczące spoin w materiałach metalowych - Badania zginania - Poprawka 1
- ASTM E340 Standardowa praktyka makrotrawienia metali i stopów
- ISO 6892-1 Materiały metalowe - Próba rozciągania - Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej
- ISO 15614-1 Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali - Badanie technologii spawania - Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu

2.3.3. Wstęp

Próba zginania ma na celu ocenę plastyczności i/lub braku imperfekcji na powierzchni próbki lub w jej pobliżu. Poddanie próbki, pobranej poprzecznie lub wzdłużnie ze złącza spawanego, odkształceniu plastycznemu poprzez zginanie, bez zmiany kierunku zginania, w taki sposób, że jedna z powierzchni lub przekrojów złącza spawanego jest rozciągana.

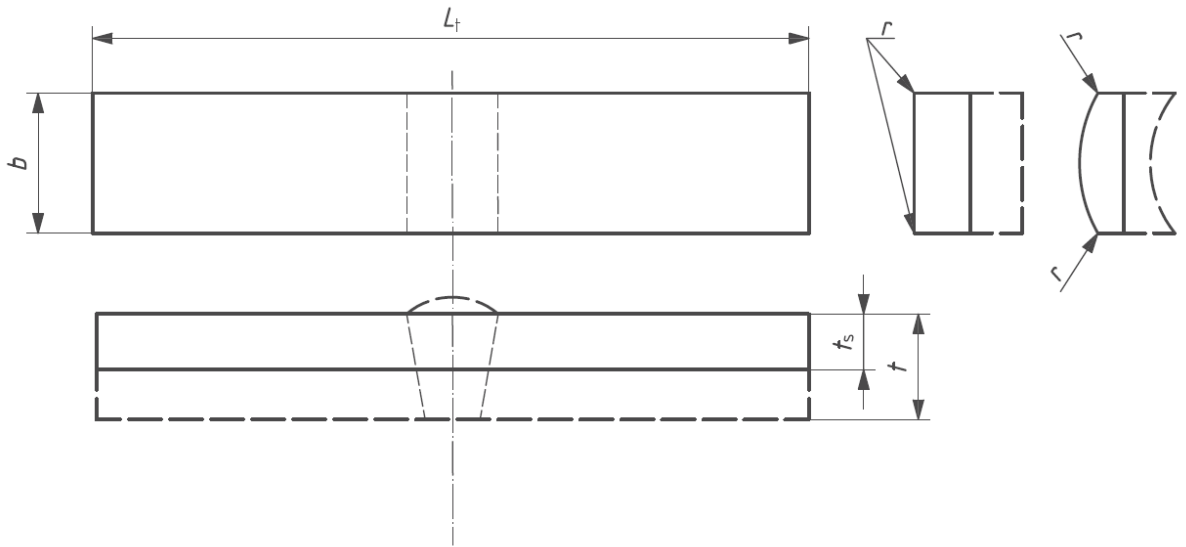
O ile nie określono inaczej, test należy przeprowadzić w temperaturze pokojowej (23 ± 5) °C. W poniższej tabeli przedstawiono listę terminów przyjętych w normie ISO 5173 wraz z ich opisami i definicjami (patrz Tabela 8).

Dane liczbowe przytoczone w tabeli 8 znajdują się pod tabelą.

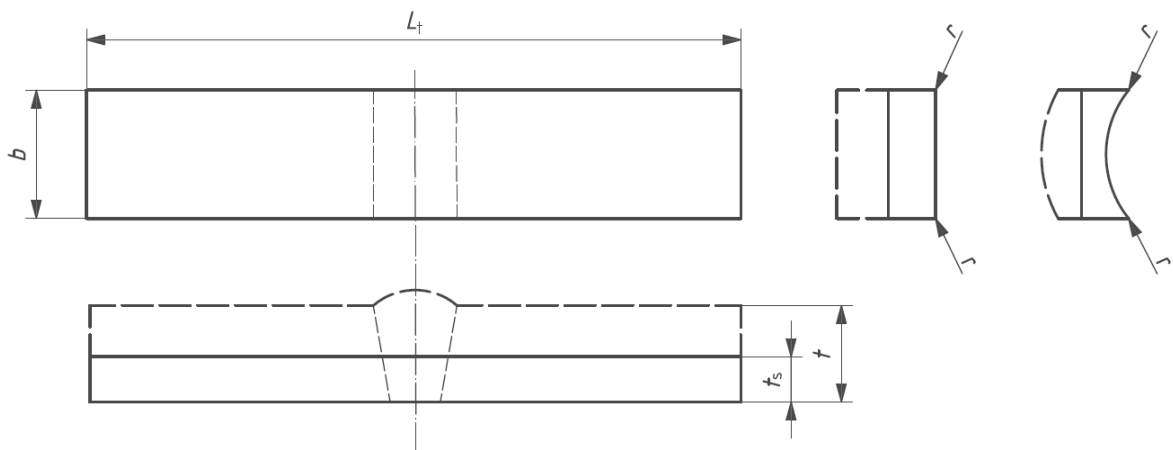
Termin	Definicja	Opis
TFBB	Próbka do próby zginania poprzecznego spoiny czołowej	Próbka, dla której powierzchnia naprężenia jest stroną o większej szerokości spoiny lub stroną z którego po raz pierwszy przyłożono łuk spawalniczy, stosowany do próbek poprzecznych spoin doczołowych. Patrz rysunek 32.
TRBB	Próbka do próby zginania poprzecznego spoiny czołowej	Próbka, dla której naprężona powierzchnia jest stroną przeciwną do powierzchni czołowej próbki do zginania spoiny czołowej, ma zastosowanie do próbek poprzecznych spoin czołowych. Patrz rysunek 33.

SBB	Próbka do próby zginania poprzecznego dla spoiny czołowej	Próbka, dla której powierzchnia naprężenia jest przekrojem spoiny. Patrz rysunek 34.
LFBB	Próbka do badania wzdłużnego lica spoiny czołowej	Próbka, której kierunek jest równoległy do kierunku spoiny czołowej, stosowana do próbek zginanych czołowo i graniowo. Patrz Rysunek 35.
LRBB	Próbka zginania graniowego dla spoiny czołowej	Próbka, której kierunek jest równoległy do kierunku spoiny czołowej, stosowana do próbek zginanych czołowo i graniowo. Patrz Rysunek 35.
FBC	Próbka do próby zginania czołowego dla okładziny bez spoiny czołowej	Próbka, w której okładzina jest rozciągana, dotyczy zarówno próbek poprzecznych, jak i podłużnych. Patrz Rysunek 36.
SBC	Próbka do testu zginania bocznego dla okładziny bez spoiny czołowej	Próbka, w której przekrój poprzeczny nakładki okładzinowej jest rozciągany, dotyczy zarówno poprzecznych, jak i podłużnych warstw okładziny. próbki wzdłużne. Patrz rysunek 37.
FBCB	Próbka do próby zginania czołowego dla okładzin ze spoiną czołową	Próbka, dla której okładzina jest w stanie naprężenia lub dla której przekrój nakładki okładziny jest w stanie naprężenia. i która zawiera spoinę czołową. Patrz rysunek 38.
SBCB	Próbka do próby zginania bocznego dla okładziny ze spoiną czołową	Próbka, dla której okładzina jest w stanie naprężenia lub dla której przekrój nakładki okładziny jest w stanie naprężenia. i która zawiera spoinę czołową. Patrz rysunek 39.
A	Wydłużenie	Minimalne procentowe wydłużenie po zerwaniu wymagane przez specyfikację materiału, mierzone w [%] zgodnie z ISO 6892-1
b	Szerokość (próbka)	Szerokość próbki testowej, mierzona w [mm]
b ₁	Szerokość (poza linią łączenia)	Szerokość zewnętrznej linii zgrzewania, mierzona w [mm]
d	Średnica (tarcza/rolka)	Średnica tarczy lub rolki wewnętrznej, mierzona w [mm]
D	Średnica (rura)	Średnica zewnętrzna rury, mierzona w [mm]
wt	Grubość ścianki	Grubość ścianki rury, mierzona w [mm]
l	Długość (odstęp)	Odległość między rolkami, mierzona w [mm]
L _f	Odległość	Początkowa odległość między kontaktem rolki a linią środkową spoiny, mierzona w [mm].
L ₀	Długość pomiarowa	Oryginalna długość pomiarowa, mierzona w [mm]
L _s	Szerokość spoiny	Maksymalna szerokość spoiny po obróbce, mierzona w [mm]
L _t	Długość próbki	Całkowita długość badanej próbki, mierzona w [mm]
r	Promień	Promień krawędzi próbki testowej, mierzony w [mm]
R	Promień	Promień rolek, mierzony w [mm]
t	Grubość (sztuka)	Grubość badanego elementu, mierzona w [mm]
t _c	Grubość (platerowana)	Grubość okładziny, mierzona w [mm]
t _s	Grubość (próbka)	grubość badanej próbki, mierzona w [mm]
t _w	Grubość (materiał podstawowy)	Grubość materiału bazowego pod okładziną, mierzona w [mm]
α	Kąt	Kąt gięcia, mierzony w [°]

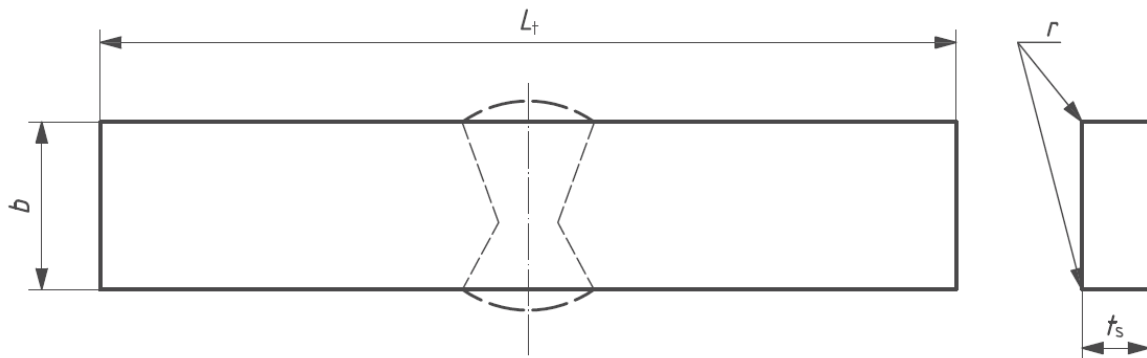
Tabela 7 -Lista terminów i definicji zaczerpniętych z normy ISO 5173.



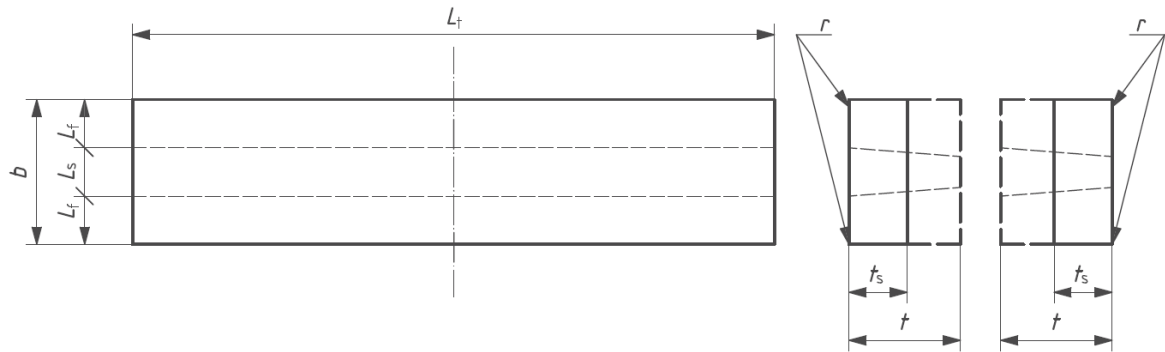
Rysunek 32 - Próbkę do próby zginania czołowego poprzecznego dla spoiny czołowej (TFBB).



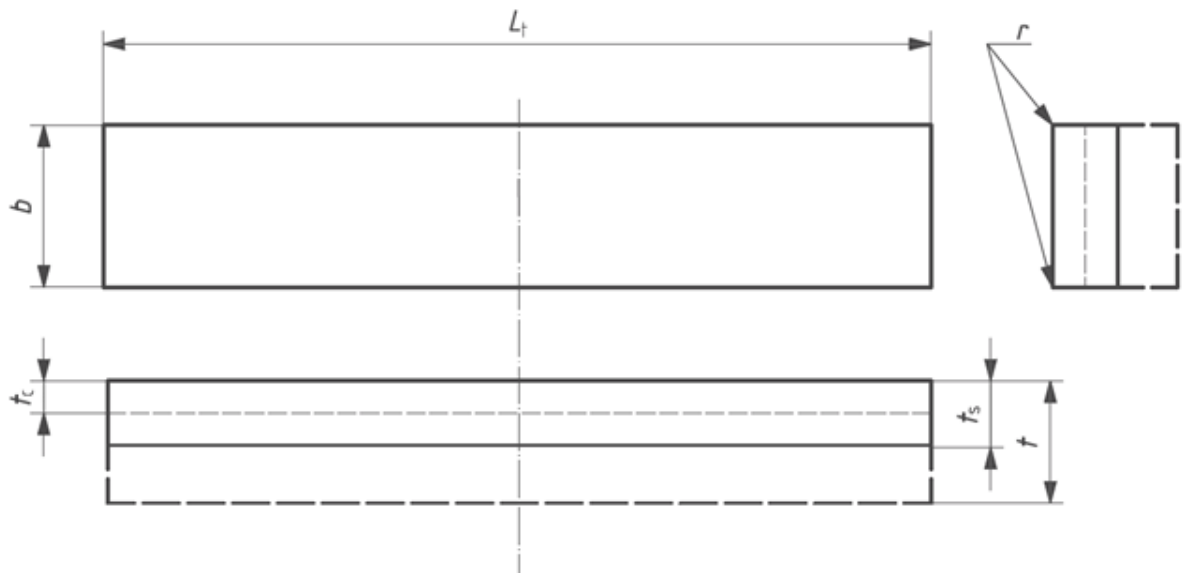
Rysunek 33 - Próbkę do próby zginania poprzecznego spoiny czołowej (TRBB).



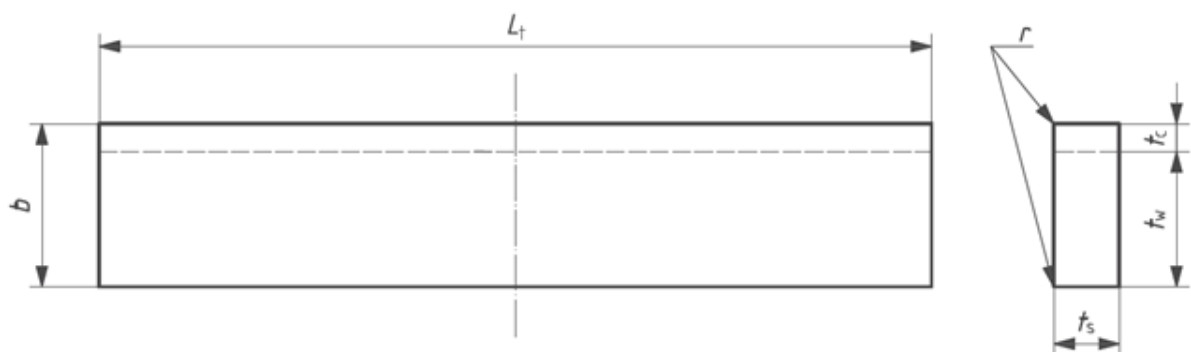
Rysunek 34 - Próbkę do próby zginania poprzecznego dla spoiny czołowej (SBB).



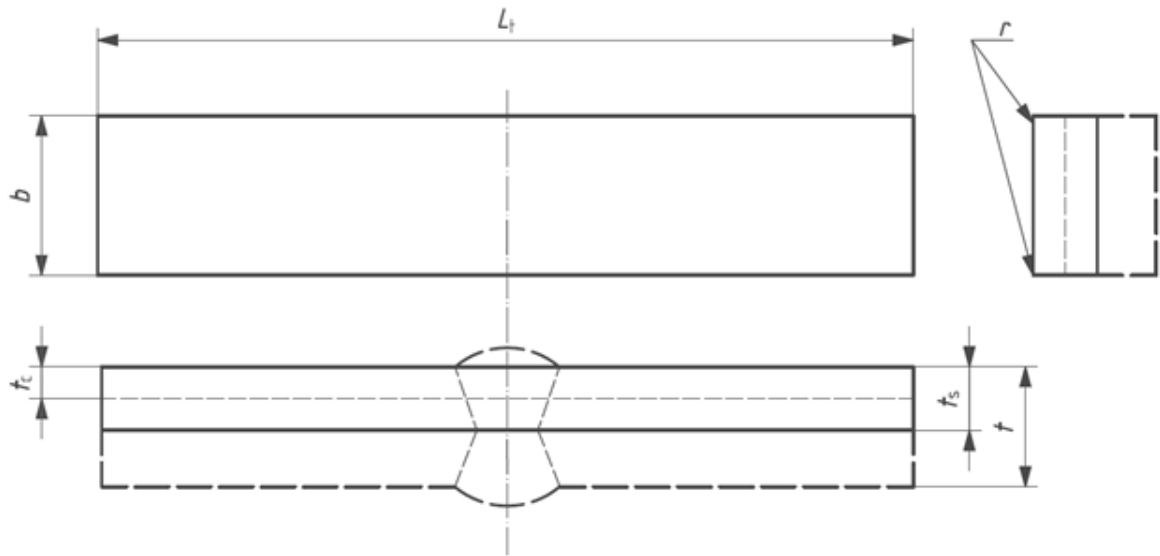
Rysunek 35 - Próbkę do próby zginania wzdłużnego dla spoiny czołowej (LFBB i LRBB).



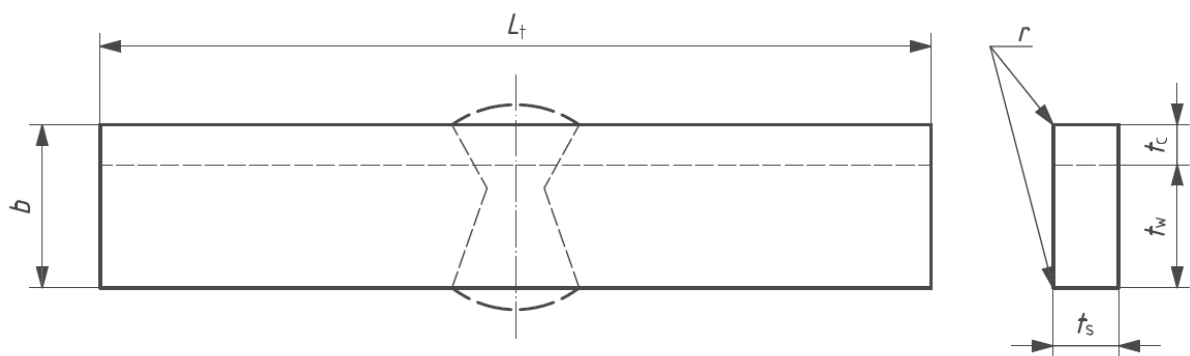
Rysunek 36 - Próbkę do testu zginania czołowego dla okładziny bez spoiny czołowej (FBC).



Rysunek 37 - Próbkę do testu zginania bocznego dla okładziny bez spoiny czołowej (SBC).



Rysunek 38 - Próbkę do próby zginania czołowego dla okładziny ze spoiną czołową (FBCB).



Rysunek 39 - Próbkę do próby zginania bocznego dla okładziny ze spoiną czołową (SBCB).

2.3.4. Próbkę do badań

Próbki powinny być przygotowane w taki sposób, aby przygotowanie nie miało wpływu ani na materiał podstawowy, ani na metal spoiny.

W przypadku badania zginania poprzecznego spoin czołowych, próbka powinna być pobrana poprzecznie ze złącza spawanego wytworzonego produktu lub ze spawanej próbki w taki sposób, aby po obróbce oś spoiny pozostała w środku próbki lub w odpowiednim miejscu do badania. W przypadku badania zginania wzdłużnego spoin czołowych, próbkę należy pobrać wzdłużnie ze złącza spawanego wytworzonego produktu lub ze spawanej próbki. Lokalizacja i orientacja próbek do badań zginania materiału okładzinowego powinna być określona w normie zastosowania lub w porozumieniu między umawiającymi się stronami.

Każda badana próbka powinna być oznaczona w celu określenia jej dokładnej lokalizacji w wytworzonym produkcie lub w złączu, z którego została usunięta. Jeśli wymaga tego odpowiednia norma zastosowania, należy oznaczyć kierunek obróbki (np. walcowanie lub wyciskanie). Każda próbka testowa powinna być oznaczona w celu określenia jej dokładnej lokalizacji w badanej próbce, z której została usunięta.

Złącze spawane ani próbka nie powinny być poddawane żadnej obróbce cieplnej, chyba że jest to określone lub dozwolone przez odpowiednią normę dotyczącą badanego złącza spawanego. Szczegóły dotyczące obróbki cieplnej powinny zostać odnotowane w raporcie z badań. Jeśli ma miejsce naturalne starzenie stopów aluminium, należy odnotować czas pomiędzy spawaniem a badaniem.

Procesy mechaniczne lub termiczne stosowane do ekstrakcji próbki testowej nie mogą w żaden sposób zmieniać właściwości próbki testowej. Dopuszczalne jest mechaniczne usunięcie dowolnego materiału, na który ma wpływ cięcie termiczne, pod warunkiem, że gotowe wymiary próbek są zgodne z podaną listą.

Powierzchnie próbki do badań powinny być obrobione w taki sposób, aby, o ile nie określono inaczej w odpowiedniej normie zastosowania i/lub w porozumieniu między umawiającymi się stronami, cały nadmiar metalu spoiny został usunięty. O ile nie określono inaczej, ścieg przetopowy może pozostać nienaruszony wewnątrz rur o małej średnicy po przeciwnej stronie próbki. Końcowe etapy przygotowania należy uzyskać poprzez obróbkę skrawaniem lub szlifowanie, podejmując odpowiednie środki ostrożności w celu uniknięcia powierzchniowego utwardzenia odkształceniowego lub nadmiernego nagrzania materiału. W zakresie długości l (patrz rysunki 42 do 44 w punkcie Procedura testowa), powierzchnia powinna być wolna od zarysowań lub nacięć poprzecznych do kierunku próbki testowej, z wyjątkiem podcięć, które nie powinny być usuwane, chyba że jest to wymagane przez odpowiednią normę zastosowania.

Ścinanie nie powinno być stosowane dla próbek stalowych o grubości > 8 mm. Jeśli cięcie termiczne lub inne metody cięcia, które mogą mieć wpływ na powierzchnie cięcia, są stosowane do wyodrębnienia próbki ze spawanej płyty lub z próbki, cięcia powinny być wykonane w odległości ≥ 3 mm od próbki, ale w każdym przypadku wystarczającej (w zależności od zastosowanego procesu), aby nie wprowadzać efektów metalurgicznych, które mogłyby wpłynąć na wyniki badań.

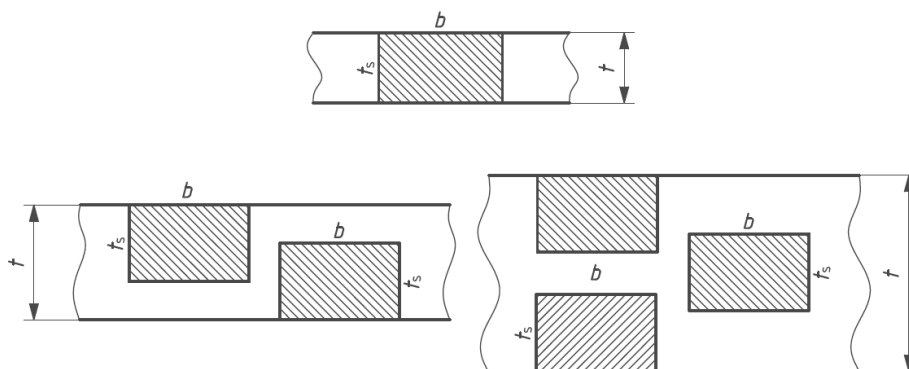
W przypadku innych materiałów metalowych, ścinane lub cięte termicznie powierzchnie nie są dozwolone na próbkach zginanych; należy stosować wyłącznie obróbkę skrawaniem (np. piłowanie, szlifowanie lub frezowanie).

Na poniższej liście rozmiar próbki jest podzielony według rodzaju testu:

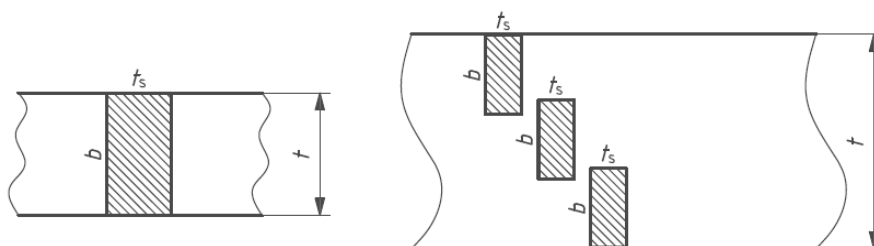
- **TFBB i TRBB** (próby zginania poprzecznego grani i lica spoiny czołowej), patrz rysunki 32 i 33.
 - t_s = grubość materiału podstawowego w pobliżu złącza spawanego lub t (maks. 30 mm)
 - jeśli $t > 10$ mm: t_s może być obrobione lub wykończone mechanicznie z jednej strony do $10 \pm 0,5$ mm (patrz rysunki 32 i 33).
 - Powierzchnia czołowa lub rdzeń spoiny powinny być naprężone, gdy próbka jest zginana
 - Gdy wymagane jest $t_s > 10$ mm, można pobrać kilka próbek do badań w celu pokrycia całej grubości złącza (patrz rysunek 40); w takich przypadkach należy określić położenie próbki w grubości złącza spawanego.
 - L_t powinien być równy wymaganej wartości i powinien spełniać wymagania odpowiednich norm aplikacyjnych.
 - Dla płyt płaskich: $b \geq 4 \cdot t_s$, chyba że określono inaczej w odpowiedniej normie zastosowania.
 - Dla rur o średnicy $D \leq 50$ mm: $b = t + 0,1 \cdot D$ ($b = \text{min. } 8$ mm)
 - Dla rur o średnicy $D > 50$ mm: $b = t + 0,05 \cdot D$ ($8 \text{ mm} < b < 40$ mm)
 - W przypadku rur o $D > 25 \cdot wt$, próbkę można pobrać zgodnie z wymaganiami dla płyt płaskich
 - $r \leq 0,2 t_s$ (maks. 3 mm), na powierzchni naprężonej i obrobionej mechanicznie
- **SBB** (próby zginania poprzecznego spoiny czołowej), patrz rysunek 34.

- b = grubość materiału podstawowego w pobliżu złącza spawanego lub t (maks. 30 mm), patrz Rysunek 34
 - wymagane $t > 10 \pm 0,5$ mm, chyba że określono inaczej w odpowiedniej normie aplikacji
 - Gdy $t_s > 40$ mm, dopuszczalne jest podzielenie próbki w płaszczyźnie grubości próbki (patrz rysunek 41); w takich przypadkach należy określić położenie próbki w grubości złącza spawanego.
 - L_t powinien być równy wymaganej wartości i spełniać wymagania odpowiednich norm aplikacji
 - $r \leq 0,2 t_s$ (maks. 3 mm), na powierzchni naprężonej i obrobionej mechanicznie
- **LFBB i LRBB** (próby zginania wzdłużnego spoiny doczołowej), patrz rysunek 35.
- t_s = grubość materiału podstawowego w pobliżu złącza spawanego lub t (maks. 10 mm)
 - jeśli $t > 10$ mm: t_s może być obrobione lub mechanicznie wykończone z jednej strony do $10 \pm 0,5$ mm (patrz rysunek 35).
 - Powierzchnia czołowa lub rdzeń spoiny powinny być naprężone, gdy próbka jest zginana
 - L_t powinien być równy wymaganej wartości i spełniać wymagania odpowiednich norm aplikacji
 - $b = L_s + 2 \cdot b_1$ (gdzie $b_1 = 15$ mm, chyba że określono inaczej w odpowiedniej normie zastosowania i/lub w porozumieniu między umawiającymi się stronami).
 - $r \leq 0,2 t_s$ (maks. 3 mm), na powierzchni naprężonej i obrobionej mechanicznie
- **FBC** (testy zginania czołowego materiału okładziny bez spoiny czołowej), patrz Rysunek 36
- $t_s = t_w + t_c$ (maks. 10 mm)
 - jeśli $t > 10$ mm: t_s może być obrabiany lub mechanicznie wykańczany z metalu podstawowego do $10 \pm 0,5$ mm (patrz Rysunek 36), jeśli pozwala na to grubość okładziny (w przeciwnym razie, jeśli $t_c < 10$ mm)
 - jeśli $(t_w + t_c) > 10$ mm: dopuszczalne jest usunięcie materiału bazowego w celu wytworzenia t_s zgodnie z normą aplikacji lub zgodnie z ustaleniami między umawiającymi się stronami.
 - L_t powinien być równy wymaganej wartości i spełniać wymagania odpowiednich norm aplikacji
 - Dla płyt płaskich: $b \geq 4 \cdot t_s$, chyba że określono inaczej w odpowiedniej normie zastosowania.
 - Dla rur o średnicy $D \leq 50$ mm: $b = t + 0,1 \cdot D$ ($b = \text{min. } 8$ mm)
 - Dla rur o średnicy $D > 50$ mm: $b = t + 0,05 \cdot D$ ($8 \text{ mm} < b < 40$ mm)
 - W przypadku rur o $D > 25 \cdot w_t$, próbkę można pobrać zgodnie z wymaganiami dla płyt płaskich
 - $r \leq 0,2 t_s$ (maks. 3 mm), na powierzchni naprężonej i obrobionej mechanicznie
- **SBC** (testy zginania bocznego materiału okładziny bez spoiny czołowej), patrz Rysunek 37
- $b = t_w + t_c$ (maks. 50 mm)
 - $t_s = 10 \pm 0,5$ mm (o ile nie określono inaczej w odpowiedniej normie aplikacji)
 - jeśli $(t_w + t_c) > 40$ mm: dopuszczalne jest usunięcie materiału bazowego w celu wytworzenia b zgodnie z normą aplikacji lub zgodnie z ustaleniami między umawiającymi się stronami.

- Lt powinien być równy wymaganej wartości i spełniać wymagania odpowiednich norm aplikacji
 - $r \leq 0,2 t_s$ (maks. 3 mm), na powierzchni naprężonej i obrobionej mechanicznie
- **FBCB** (testy zginania poprzecznego materiału okładzinowego ze spoiną czołową), patrz rysunek 38.
- $t_s = t_w + t_c$ (maks. 10 mm)
 - jeśli $t > 10$ mm: t_s może być obrobiony lub mechanicznie wykończony od przeciwnej strony okładziny (patrz rysunek 38) do $10 \pm 0,5$ mm, jeśli pozwala na to grubość okładziny (w przeciwnym razie, jeśli $t_c < 10$ mm); w takim przypadku lokalizacja spoiny powinna pozostać w środku próbki lub w odpowiednim miejscu do badań (patrz rysunek 38)
 - Gdy $t > t_s$ (w tym przypadku: maks. 10 mm) i gdy badanie dotyczy całego złącza obejmującego zarówno złącze doczołowe, jak i okładzinę, można pobrać kilka próbek w celu pokrycia pełnej grubości złącza, jak pokazano na rysunku 40.
 - Gdy $(t_w + t_c) > t_s$ (w tym przypadku: maks. 10 mm) i gdy celem testu jest zbadanie tylko okładziny, nie są wymagane dalsze testy materiału podstawowego.
 - Lt powinien być równy wymaganej wartości i spełniać wymagania odpowiednich norm aplikacji
 - Dla płyt płaskich: $b \geq 4 \cdot t_s$, chyba że określono inaczej w odpowiedniej normie zastosowania.
 - Dla rur o średnicy $D \leq 50$ mm: $b = t + 0,1 \cdot D$ ($b = \text{min. } 8$ mm)
 - Dla rur o średnicy $D > 50$ mm: $b = t + 0,05 \cdot D$ ($8 \text{ mm} < b < 40$ mm)
 - W przypadku rur o $D > 25 \cdot t_w$, próbkę można pobrać zgodnie z wymaganiami dla płyt płaskich
 - $r \leq 0,2 t_s$ (maks. 3 mm), na powierzchni naprężonej i obrobionej mechanicznie
- **SBCB** (próbka do próby zginania bocznego poprzecznego dla okładzin ze spoiną czołową), patrz Rysunek 39
- $b = t_w + t_c$ (maks. 50 mm)
 - $t_s = 10 \pm 0,5$ mm (o ile nie określono inaczej w odpowiedniej normie aplikacji)
 - Spoina powinna znajdować się w środku próbki lub w miejscu odpowiednim do przeprowadzenia badania (patrz rysunek 39).
 - jeśli $(t_w + t_c) > 40$ mm: dopuszczalne jest usunięcie materiału bazowego w celu wytworzenia b zgodnie z normą aplikacji lub zgodnie z ustaleniami między umawiającymi się stronami.
 - Gdy $t > t_s$ (w tym przypadku: maks. 10 mm) i gdy badanie dotyczy całego złącza obejmującego zarówno złącze doczołowe, jak i okładzinę, można pobrać kilka próbek w celu pokrycia pełnej grubości złącza, jak pokazano na rysunku 40.
 - Gdy $(t_w + t_c) > t_s$ (w tym przypadku: maks. 10 mm) i gdy celem testu jest zbadanie tylko okładziny, nie są wymagane dalsze testy na materiale bazowym.
 - Lt powinien być równy wymaganej wartości i spełniać wymagania odpowiednich norm aplikacji
 - $r \leq 0,2 t_s$ (maks. 3 mm), na powierzchni naprężonej i obrobionej mechanicznie



Rysunek 40: Próbkę zginania graniowego i czołowego dla spoiny czołowej (TFBB, TRBB, LFBB i LRBB).



Rysunek 41: Próbkę do próby zginania bocznej dla spoiny czołowej (SBB).

2.3.5. Procedura badawcza

Istnieją dwie główne metody przeprowadzania testu zginania: Testowanie za pomocą kształtki (patrz rysunki od 42 do 45) i Testowanie za pomocą wałka (rysunek 46). Wśród metod "testowania z formą" znajduje się przyrząd typu U sugerowany dla cienkich materiałów i wymagający specjalnego przyrządu (patrz rysunek 45). Prowadzona próba zginania za pomocą rolki jest alternatywną metodą badania, która może być stosowana do stopów aluminium i połączeń w innych materiałach, w których metal spoiny lub jeden z łączonych materiałów ma niższą granicę plastyczności lub wytrzymałość próbną niż (inny) materiał podstawowy.

Przed rozpoczęciem próby zginania za pomocą matrycy, kształt i położenie strefy wtopienia lub linii wtopienia można ustalić poprzez lekkie makro-trawienie powierzchni próbki, która ma być poddana próbie rozciągania (patrz ASTM E340 w celu uzyskania dalszych informacji na temat makro-trawienia). Próbę z użyciem matrycy należy przeprowadzić poprzez umieszczenie próbki na dwóch podporach składających się z równoległych rolek (patrz rysunki 42-44) lub przyrządu typu U (patrz rysunek 45); spoina powinna znajdować się w połowie odległości między rolkami, z wyjątkiem prób zginania wzdłużnego. Próbkę do badań powinna być zginana poprzez stopniowe i ciągłe obciążenie w środku rozpiętości, na osi spoiny, z obciążeniem przyłożonym przez matrycę (zginanie trzypunktowe) prostopadle do powierzchni próbki do badań. Promień tłoka i matrycy dla przyrządu typu U powinien być zgodny z tabelą 9.

Badanie za pomocą wałka przeprowadza się poprzez mocne zaciśnięcie jednego końca badanej próbki w urządzeniu badawczym posiadającym wałek równoległy do matrycy. Badana próbka powinna być zginana przez obciążenie, stopniowo i w sposób ciągły, za pomocą obrotu zewnętrznego walca przez łuk wyśrodkowany na osi matrycy.

Standardowa metoda badawcza ISO 5173 nie określa żadnej prędkości badania w odniesieniu do badania za pomocą matrycy lub wałka; wymagane jest jedynie zalecenie stopniowego i ciągłego obciążenia próbki. Zgodnie z ogólną procedurą, całkowity czas badania wynoszący około 10÷20 sekund w

celu wykonania próby zginania jest dobrym punktem wyjścia do odpowiedniego ustawienia prędkości badania.

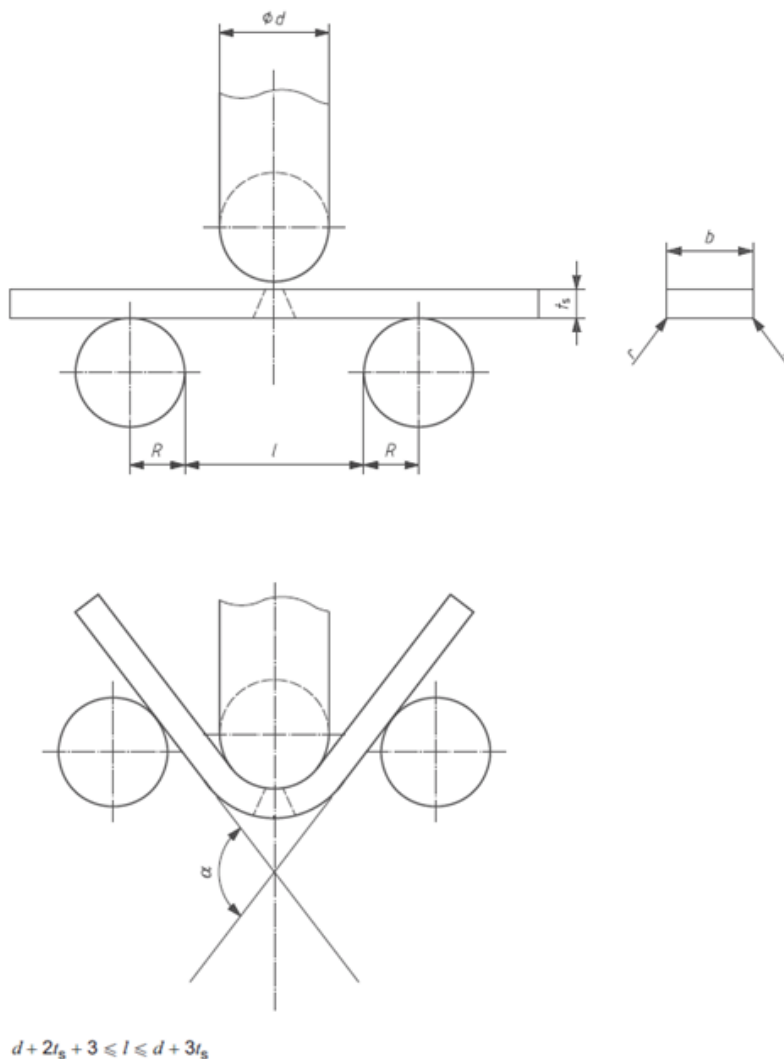
Odległość między rolkami podano na rysunkach 42-44, podczas gdy średnica matrycy i rolki jest związana z wydłużeniem (A) metalu macierzystego próbek, określonym w próbie rozciągania (patrz ISO 6892-1). W szczególności wyróżnia się dwa przypadki: materiały z $A < 20\%$ i materiały z $A \geq 20\%$, jak pokazano w tabeli 10.

Test jest zakończony, gdy test osiągnie definicję zakończenia testu podaną w odpowiedniej normie aplikacji (np. osiągnięty zostanie określony kąt zginania). W przeciwnym razie można zastosować następujące definicje na podstawie rodzaju przeprowadzonego testu (z formą, z przyrządem, z rolką):

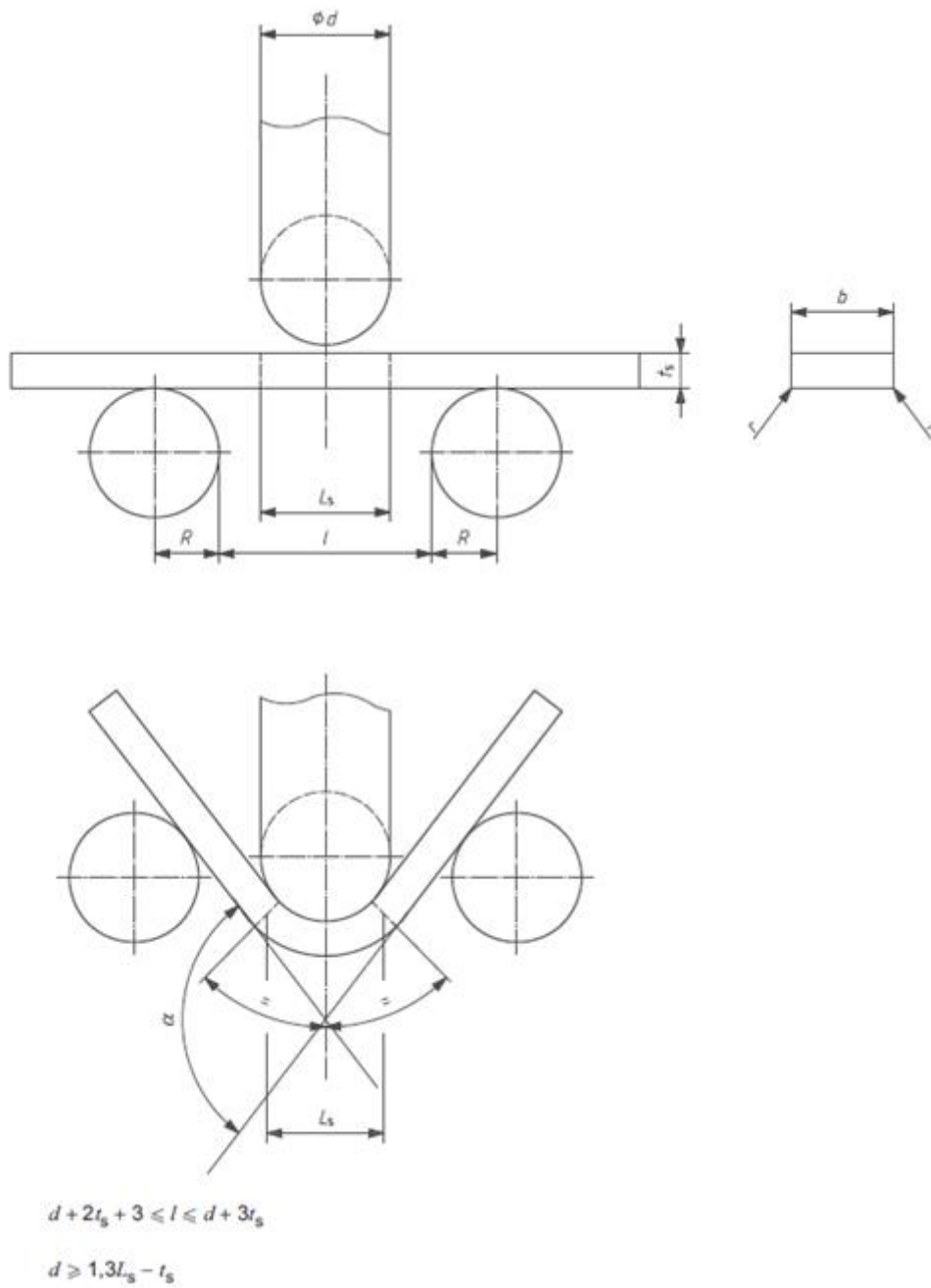
- Rysunki od 42 do 44: próbka jest wyrzucana z dolnej części urządzenia;
- Rysunek 45: pomiędzy próbką a dolny uchwyt nie można włożyć drutu o średnicy 3 mm;
- Rysunek 46: rolka zewnętrzna została przesunięta o 180° od punktu początkowego.
- 6.6 Wydłużenie przy zginaniu

Próba zginania pozwala na ilościowe określenie ciągliwości próbki poprzez pomiar wydłużenia; w takim przypadku, jeśli ten wynik jest wymagany, próbki stali do próby zginania korzeniowego lub czołowego powinny mieć długość pomiarową zgodną z następującymi warunkami:

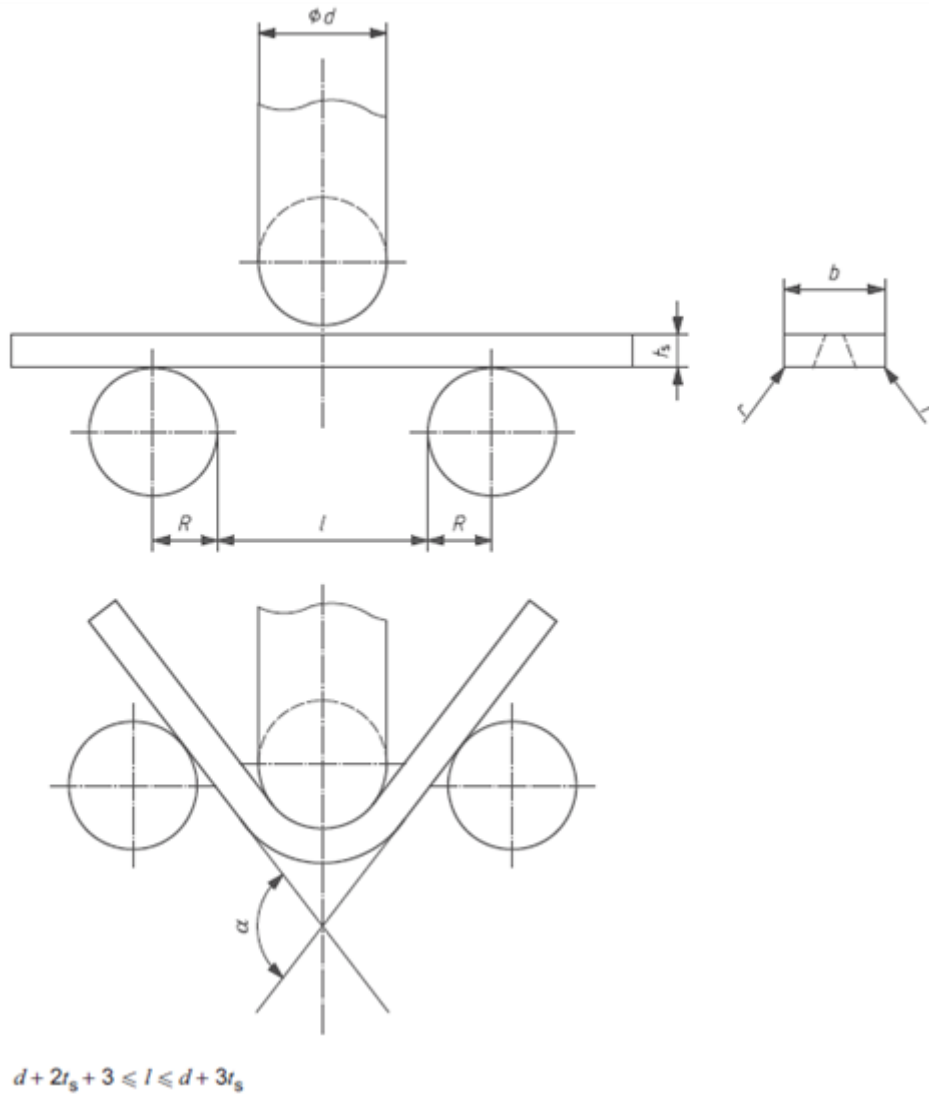
- Spoiny pachwinowe: $L_0 = L_s$ lub $L_0 = 2 \cdot L_s$ lub $L_0 = L_s - t_s$
- Spoiny ciśnieniowe, spoiny wiązką elektronów i spoiny laserowe: $L_0 = t_s$ lub $L_0 = 2 \cdot t_s$



Rysunek 42 - Test zginania poprzecznego czoła lub korzenia.

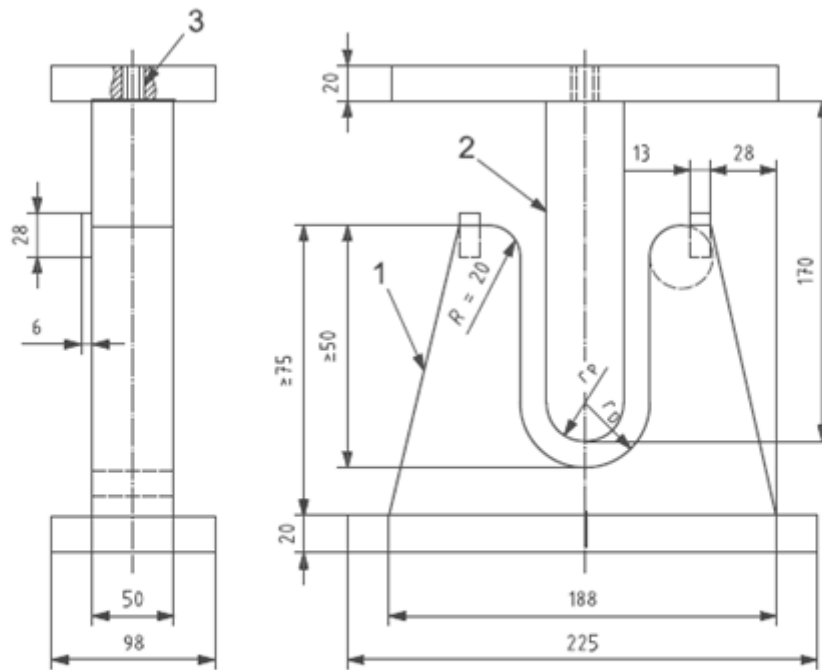


Rysunek 43 - Test poprzecznego zginania bocznego.



Rysunek 44 - Test zginania wzdłużnego.

Dimensions in millimetres



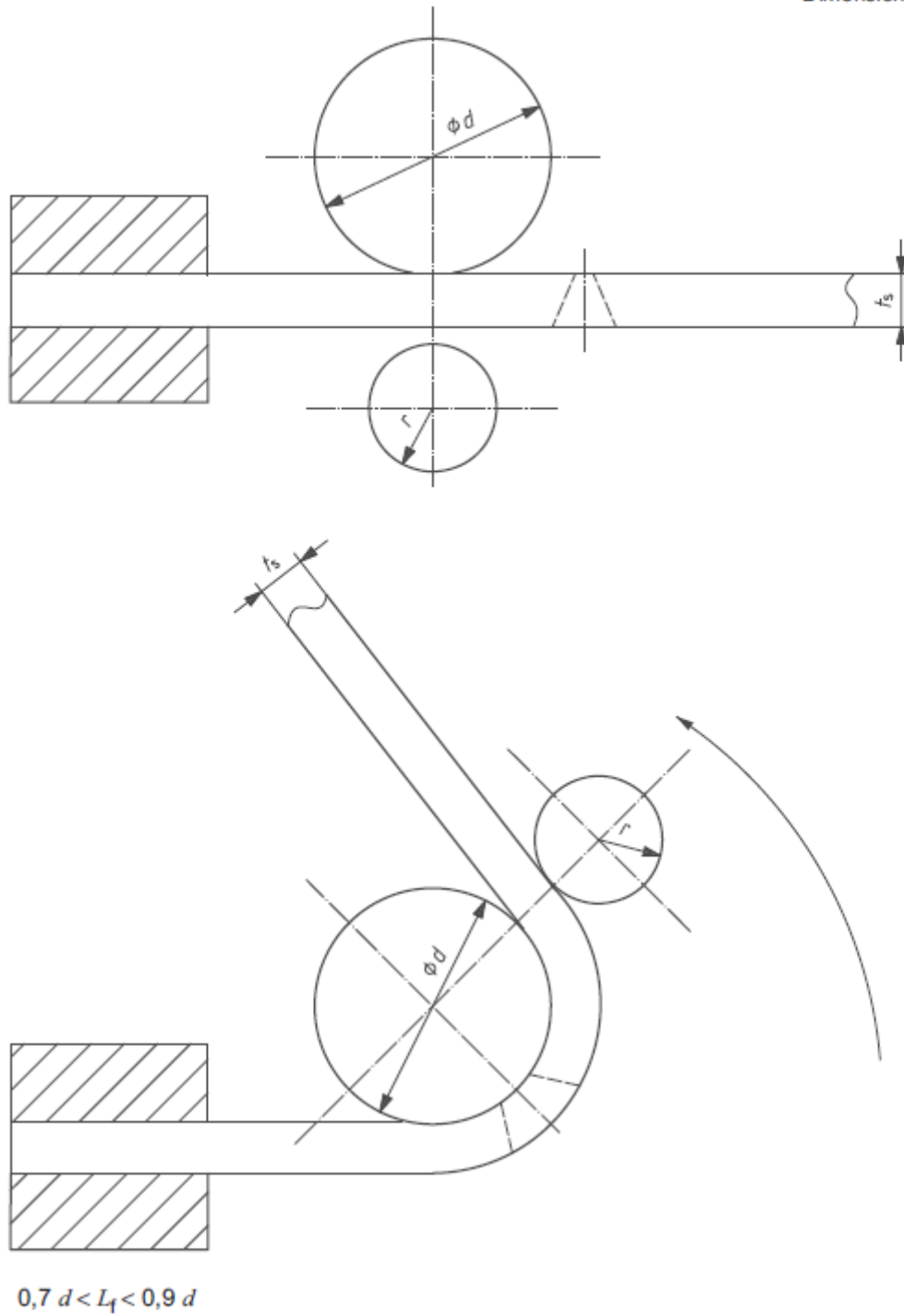
Key

- r_p plunger radius
- r_D die radius
- 1 die
- 2 plunger
- 3 tapped hole for attaching plunger to test machine

Rysunek 45 - Przykład kształtu przyrządu typu U do próby zginania cienkich próbek.

Grubość próbki [mm]	Promień tłka [mm]	Promień matrycy [mm]
10	20	32
t_s	$2 \cdot t_s$	$r_p + t_s + 2$

Tabela 8 - Wymiary mocowania - przyrząd typu U.



Rysunek 46 - Metoda testowania zginania przy użyciu wałka.

Wydłużenie metalu macierzystego, A [%]	Średnica matrycy lub rolki wewnętrznej, d [mm]
≥ 20	$4 \cdot t_s$
< 20	$100 \cdot t_s A - t_s$

Tabela 9 - Średnica matrycy i wałka

2.3.6. Wynik testu

Po zginaniu należy zbadać zarówno powierzchnię zewnętrzną, jak i boki badanej próbki. Ocena próbki do próby zginania powinna być przeprowadzona i zgłoszona zgodnie z odpowiednią normą (np. jeśli stosowana jest norma ISO 15614-1, podczas badania próbki nie powinny wykazywać żadnych niedoskonałości > 3 mm w żadnym kierunku; niedoskonałości pojawiające się na rogach próbki podczas badania powinny zostać pominięte w ocenie).

2.3.7. Raport z testów

Jeśli stosowana jest norma ISO 5173, raport z testu powinien zawierać co najmniej następujące informacje:

- odniesienie do zastosowanej standardowej metody badania wraz z rokiem publikacji, tj. ISO 5173;
- identyfikacja badanej próbki (oznakowanie, rodzaj materiału podstawowego, obróbka cieplna itp.);
- kształt i wymiary próbki testowej;
- rodzaj i symbol próby zginania (próba zginania korzeniowego i czołowego, poprzecznego lub wzdłużnego, próba zginania poprzecznego bocznego);
- warunki testowania (patrz akapit "Procedura testowa");
- metody testowe (dawne lub rolkowe);
- średnica tego pierwszego;
- odległość między rolkami.
- temperatura testowa, jeśli nie mieści się w zakresie temperatur (23 ± 5) °C;
- rodzaj i wymiary zaobserwowanych niedoskonałości;
- kąt gięcia.
- wydłużenie (jeśli wymagane)
- Przykład typowego raportu z testu podano w przykładzie 1.

2.3.8. Przykład 1

Przykład typowego raportu z testu, patrz Rysunek 47.

Example of a test report

N°

According to pWPS

According to test result "bend test"
test result "....."

Manufacturer:

Purpose of the examination:

Form of product:

Base material:

Consumable:

Test temperature:

Table A.1 — Bend test in accordance with ISO 5173

Specimen N°/position	Type of test	Dimensions mm	Former diameter mm	Distance between rollers mm	Bend angle °	Original gauge length mm	Elongation %	Remark e.g. fracture appearance

Examiner or examining body:

.....

(name, date and signature)

Approved by:

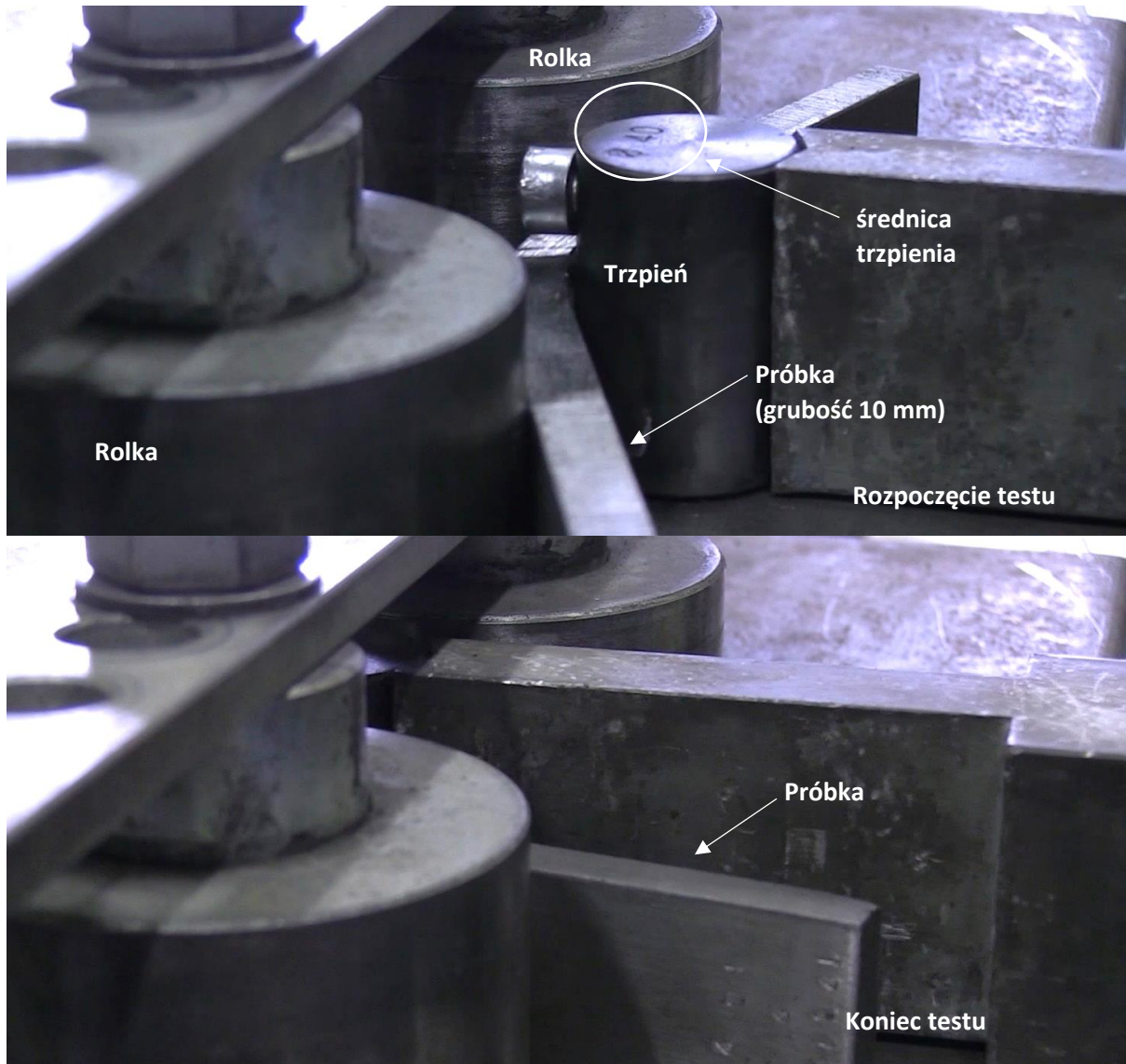
.....

(name, date and signature)

Rysunek 47 - Przykład raportu z testu zgodnie z normą ISO 9017.

2.3.9. Przykład 2

Niektóre obrazy związane z różnymi etapami testu zginania są przedstawione na poniższych rysunkach, patrz Rysunek 48.



Rysunek 48 - Obrazy testu zginania: początek (na górze) i koniec (na dole).

2.3.10. Przykład 3

Na poniższych rysunkach przedstawiono dwie próbki: próbkę bez niedoskonałości po teście (akceptowalne wyniki zgodnie z ISO 15614-1) i próbkę nieudaną (niedopuszczalne wyniki zgodnie z ISO 15614-1), patrz rysunek 49.



Rysunek 49 - Obrazy akceptowalnego wyniku (brak niedoskonałości po teście, patrz górny obraz) i nieakceptowalnego wyniku (nieudana próbka: dolny obraz) zgodnie z ISO 15614-1.

2.4. Badanie udarności Charpy'ego metali i połączeń spawanych

2.4.1. Przedmowa

Próba udarności jest związana z testem, w którym próbka jest natychmiast rozrywana przez obciążenie dynamiczne spowodowane uderzeniem spadającego ciężaru; w tym rozdziale zostanie wprowadzone i omówione użycie wahadła Charpy'ego do łamania różnego rodzaju próbek. W szczególności, głównym odniesieniem tego rozdziału jest norma ISO 148, która koncentruje się na próbkach z karbem V i karbem U i opisuje metodę określania energii pochłoniętej w próbie udarności materiałów metalowych.

2.4.2. Powołane normy

- ISO 148-1 Materiały metalowe - Próba udarności wahadłem Charpy'ego - Część 1: Metoda badania
- ISO 148-2 Materiały metalowe - Próba udarności wahadłem Charpy'ego - Część 2: Weryfikacja maszyn wytrzymałościowych
- ISO 148-3 Materiały metalowe - Wahadłowa próba udarności Charpy'ego - Część 3: Przygotowanie i charakterystyka próbek Charpy'ego z karbem w kształcie litery V do pośredniej weryfikacji linii udarności wahadłowej
- ISO 9016 - Badania niszczące spoin w materiałach metalowych - Próby udarności - Umieszczenie próbki, orientacja karbu i badanie
- SEP 1670 Wyznaczanie temperatury przejścia krucho-ciągłego FATT i innych charakterystycznych właściwości
- ISO 286-1 Geometryczne specyfikacje wyrobów (GPS) - System kodów ISO dla tolerancji wymiarów liniowych - Część 1: Podstawa tolerancji, odchyłek i pasowań

2.4.3. Wprowadzenie

Zakres próby udarności polega na określeniu udarności materiału lub spoiny poprzez pomiar energii zużytej na rozerwanie próbki z karbem. Taki wynik może być powiązany z temperaturą, w której próbka jest testowana, w rzeczywistości materiały metaliczne wykazują specyficzne zachowanie w odniesieniu do temperatury testowania i w zależności od rodzaju materiałów (np. stali ferrytycznych) można zaobserwować krzywą przejściową udarności lub w zależności od temperatury.

Próba udarności Charpy'ego polega na zerwaniu karbowanej próbki pojedynczym uderzeniem wahadła; karb w próbce ma określoną geometrię i znajduje się pośrodku między dwoma podporami, naprzeciwko miejsca, które jest uderzane w teście. Zwykle określa się energię pochłoniętą w teście udarności, rozszerzalność boczną i wygląd pęknięcia ścinającego.

Ponieważ udarność wielu materiałów metalicznych zmienia się w zależności od temperatury, testy należy przeprowadzać w określonej temperaturze. Jeśli temperatura ta jest inna niż temperatura otoczenia, badany element należy podgrzać lub schłodzić do tej temperatury w kontrolowanych warunkach. Dzięki tym wynikom można narysować krzywe obserwujące zachowanie materiału w zależności od temperatury; dostępne są różne metody dopasowania punktów danych eksperymentalnych, dlatego w tym rozdziale zostanie zbadana i opisana technika sugerowana przez SEP 1670.

Co więcej, pozycja i orientacja, w której pobierana jest próbka, jest bardzo ważna i musi być określona w raporcie z badań, aby właściwie odnieść wynik do konkretnej pozycji próbki. Co więcej, położenie karbu jest ważne, w przypadku spoiny karb może być umieszczony w pobliżu linii wtopienia, na metalu spoiny lub w strefie wpływu ciepła; dlatego wyniki uzyskane z tej samej spoiny będą się różnić w zależności od położenia karbu. Norma ISO 9016 pomaga zidentyfikować pozycję, w której pobierana jest próbka i gdzie znajduje się karb w odniesieniu do spoiny.

Wahadłowy test udarności Charpy'ego jest często stosowany w rutynowych, wysokowydajnych testach akceptacyjnych w warunkach przemysłowych. W przypadku tych testów może nie być ważne, czy badana próbka jest całkowicie złamana, częściowo złamana, czy po prostu odkształcona plastycznie i przeciągnięta przez kowadła. W badaniach, projektowaniu lub środowisku akademickim zmierzone wartości energii są badane bardziej szczegółowo, w którym to przypadku może być bardzo istotne, czy próbka jest złamana, czy nie.

Należy zauważyć, że nie wszystkie wyniki testów udarności wahadłem Charpy'ego można bezpośrednio porównać. Na przykład, test może być przeprowadzony z młotami posiadającymi bijaki o różnych promieniach lub z różnymi kształtami próbek. Testy przeprowadzone z różnymi bijakami mogą dawać różne wyniki, a wyniki testów uzyskane z próbkami o różnych kształtach również mogą. Dlatego też nie tylko zgodność z normą ISO 148, ale także jasne i kompletne raportowanie typu przyrządu, próbki testowej i szczegółów dotyczących próbek po teście mają kluczowe znaczenie dla porównywalności wyników.

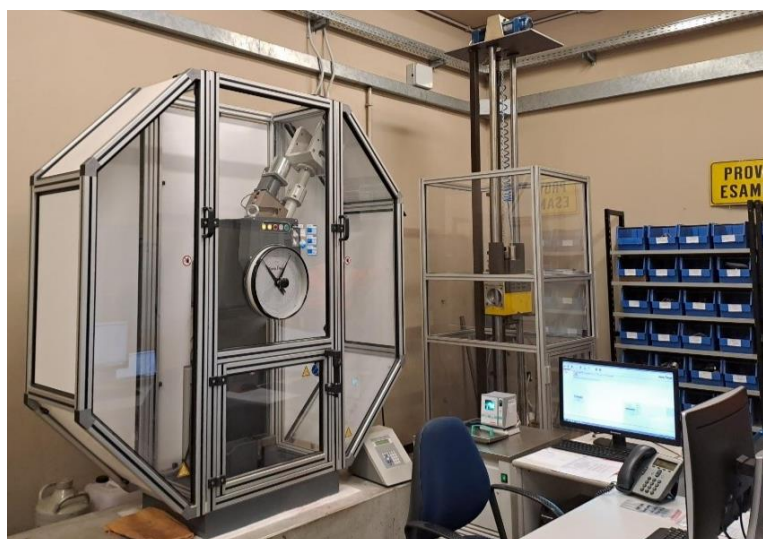
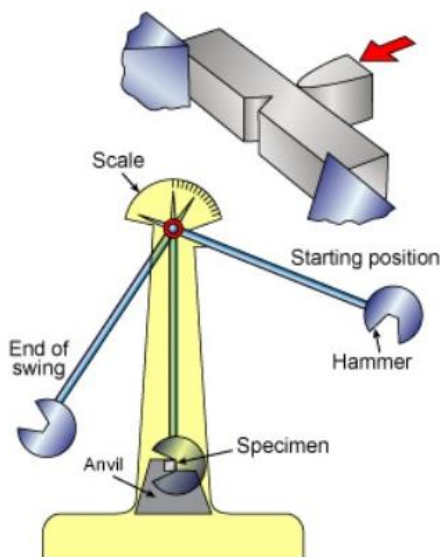
W poniższej tabeli przedstawiono listę terminów przyjętych w normie ISO 148-1 wraz z ich opisami i jednostkami (patrz Tabela 11).

Na rysunku 50 przedstawiono szkic wahadła Charpy'ego wraz ze zdjęciem wahadła w laboratorium, podczas gdy na rysunku 51 przedstawiono terminologię próbki testowej pokazującą konfigurację podpór próbki testowej i kowadeł wahadłowej maszyny do badań udarności.

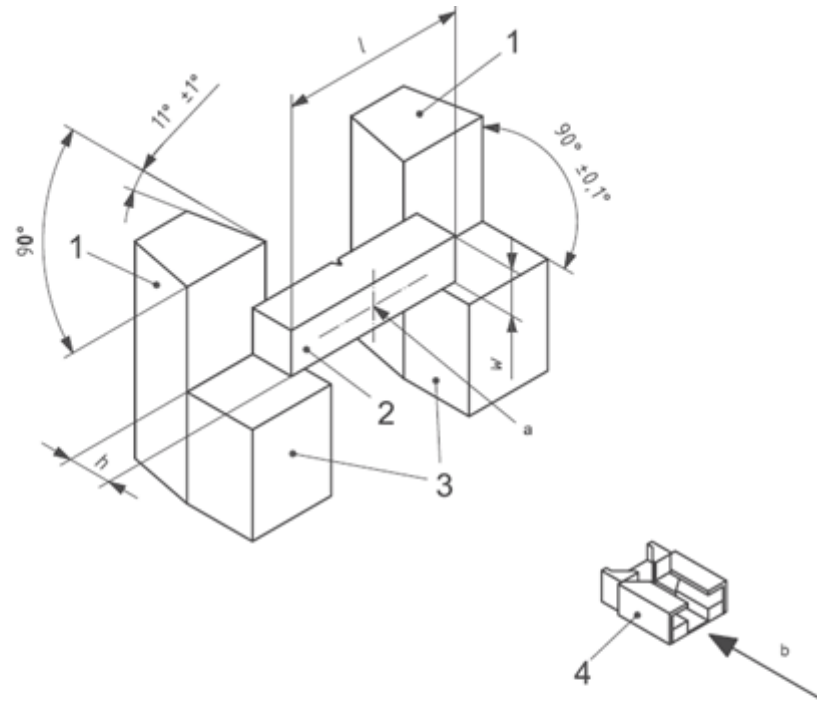
Termin	Jednostka	Opis
W	mm	grubość badanej próbki
h	mm	szerokość próbki testowej
l	mm	długość próbki testowej
α	$^{\circ}$	kąt upadku wahadła
β_1	J lub $^{\circ}$	kąt wznoszenia, gdy maszyna jest obsługiwana w normalny sposób bez próbki testowej w pozycji
β_2	J lub $^{\circ}$	kąt wznoszenia, gdy maszyna jest obsługiwana w normalny sposób bez elementu testowego na miejscu i bez resetowania mechanizmu wskazującego
LE	mm	ekspansja boczna
K	J lub $^{\circ}$	zaabsorbowana energia (wyrażona jako KV_2 , KV_8 , KU_2 , KU_8 , aby zidentyfikować określone geometrie karbu i promień uderzającej krawędzi)
K_1	J lub $^{\circ}$	wskazana energia pochłonięta, gdy maszyna jest obsługiwana w normalny sposób bez elementu testowego na miejscu
K_2	J lub $^{\circ}$	wskazana energia pochłonięta, gdy maszyna jest obsługiwana w normalny sposób bez elementu testowego w pozycji i bez resetowania mechanizmu wskazującego
K_N	J	nominalna początkowa energia potencjalna (energia przypisana przez producenta maszyny do testowania uderzeń wahadła)
K_p	J	początkowa energia potencjalna (energia potencjalna)
KV_2	J	Pochłonięta energia dla próbki testowej z karbem w kształcie litery V przy użyciu bijaka 2 mm
KV_8	J	pochłonięta energia dla próbki testowej z karbem w kształcie litery V przy użyciu bijaka 8 mm
KU_2	J	pochłonięta energia dla próbki testowej z karbem U przy użyciu bijaka 2 mm
KU_8	J	pochłonięta energia dla próbki testowej z karbem U przy użyciu bijaka 8 mm
F	N	Siła związana z masą spadającego ciężaru (młot)
l_2	N	Długość uszkodzenia, do którego podłączony jest spadający ciężar

M	N·m	Moment równy iloczynowi $F \cdot l_2$
p	J	pochłonięta strata energii spowodowana tarcieniem wskaźnika
p'	J	pochłonięta strata energii spowodowana tarcieniem łożyska i oporem powietrza
p_β	J	korekta strat energii pochłoniętej dla kąta wznoszenia β
SFA	%	Wygląd pęknięcia ścinającego
T_i	°C	temperatura przejścia
T_{t27}	°C	temperatura przejścia zdefiniowana przy określonej wartości pochłoniętej energii; na przykład 27 J
$Tt50\%US$	°C	temperatura przejścia zdefiniowana przy określonej wartości procentowej pochłoniętej energii górnej półki; na przykład 50
$Tt50\%SFA$	°C	temperatura przejścia zdefiniowana przy określonej proporcji pęknięcia ścinającego; na przykład 50
$T_{t0,9}$	°C	temperatura przejścia określona przy określonej wartości rozszerzalności bocznej; na przykład 0,9 mm

Tabela 10 - Lista terminów i definicji zaczerpnięta z normy ISO 148-1.

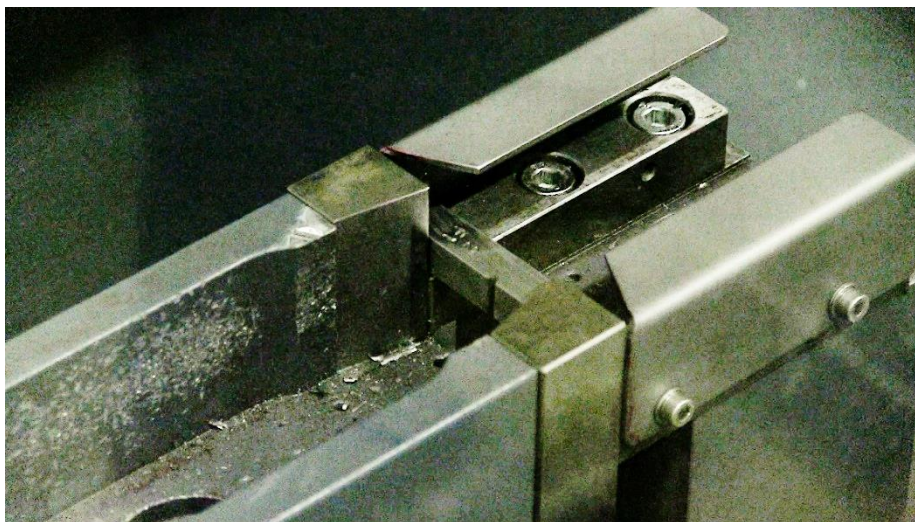


Rysunek 50 - Szkic wahadła Charpy'ego (po lewej) i zdjęcie wahadła w laboratorium (po prawej, dzięki uprzejmości IIS).



Key

- 1 anvil
 - 2 standard-sized test piece
 - 3 test piece supports
 - 4 shroud
-
- h* height of test piece
 - l* length of test piece
 - w* width of test piece
 - a* Centre of strike.
 - b* Direction of pendulum swing.



Rysunek 51 - Na górze: Terminologia próbki testowej pokazująca konfigurację podparć próbki testowej i kowadeł wahadłowej maszyny do badań udarności; na dole: zdjęcie kowadeł podpierających z zamontowaną próbką testową przed uderzeniem młotkiem (biała strzałka wskazuje kierunek i stronę uderzenia w próbkę testową).

2.4.4. Próbkki testowe

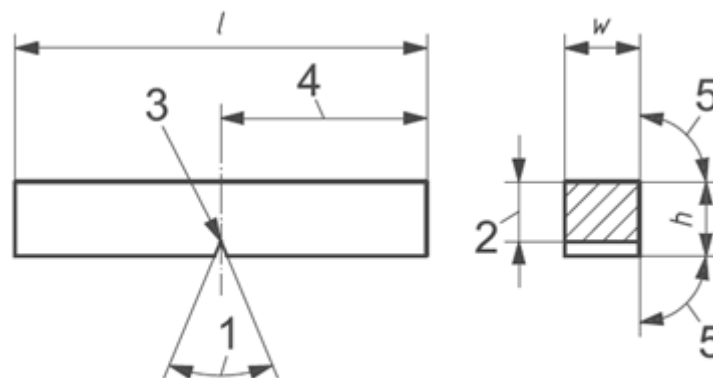
Standardowa próbka do badania udarności zgodnie z normą ISO 148-1 ma długość 55 mm i przekrój kwadratowy 10 x 10 mm: w środku długości znajduje się karb w kształcie litery V lub U. Karb w kształcie litery V powinien mieć kąt 45° , głębokość 2 mm i promień korzenia 0,25 mm, podczas gdy karb w kształcie litery U powinien mieć głębokość 5 mm (o ile nie określono inaczej) i promień korzenia 1 mm (patrz rysunek 52 i tabela 12). Na rysunku 53 pomiar promienia korzenia na karbie V jest wykonywany za pomocą oprogramowania mikroskopu optycznego.

Jeśli standardowa próbka nie może być uzyskana z materiału, należy użyć jednej z podwymiarowych próbek testowych o grubości 7,5 mm, 5 mm lub 2,5 mm (patrz rysunek 51 i tabela 12), jeśli nie określono inaczej. Należy zauważyć, że bezpośrednie porównanie wyników ma znaczenie tylko wtedy, gdy jest dokonywane między próbkami o tym samym kształcie i wymiarach. Ponadto, w przypadku niskich energii, użycie podkładek w celu lepszego pozycjonowania niewymiarowych próbek względem środka uderzenia jest ważne, aby uniknąć nadmiernego pochłaniania energii przez wahadło. W przypadku wysokich energii może to nie być tak ważne. Podkładki mogą być umieszczone na lub pod podporami próbki testowej, w wyniku czego środkowa grubość próbki znajduje się 5 mm nad podporami 10 mm. Podkładki można tymczasowo przymocować do wsporników za pomocą taśmy lub w inny sposób.

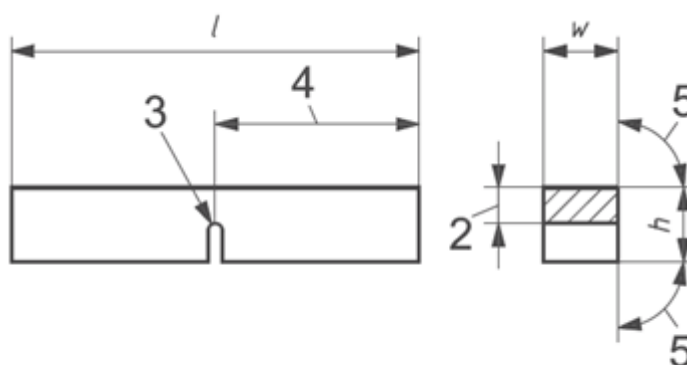
W przypadku oceny materiału poddanego obróbce cieplnej, próbka powinna zostać poddana obróbce wykańczającej i nacięciu po końcowej obróbce cieplnej, chyba że można wykazać, że obróbka przed obróbką cieplną nie ma wpływu na wyniki testu.

Przygotowanie powinno być wykonane w taki sposób, aby zminimalizować wszelkie zmiany próbki testowej, na przykład spowodowane ogrzewaniem lub obróbką na zimno; próbka testowa może być znakowana na dowolnej powierzchni czołowej, która nie styka się z podporami, kowadłami lub białym oraz w miejscu, w którym odkształcenie plastyczne i nieciągłości powierzchni spowodowane znakowaniem nie wpływają na pochłoniętą energię.

Próbka może być wykonana z materiału podstawowego (np. płyty lub elementu) lub ze spoiny; w tym ostatnim przypadku należy zastosować normę ISO 9016, aby prawidłowo zidentyfikować miejsce, w którym próbki są pobierane ze spoiny i dokładną pozycję karbu w odniesieniu do strefy wpływu ciepła, metalu spoiny, pokrywy lub grani spoiny.



a) V-notch geometry



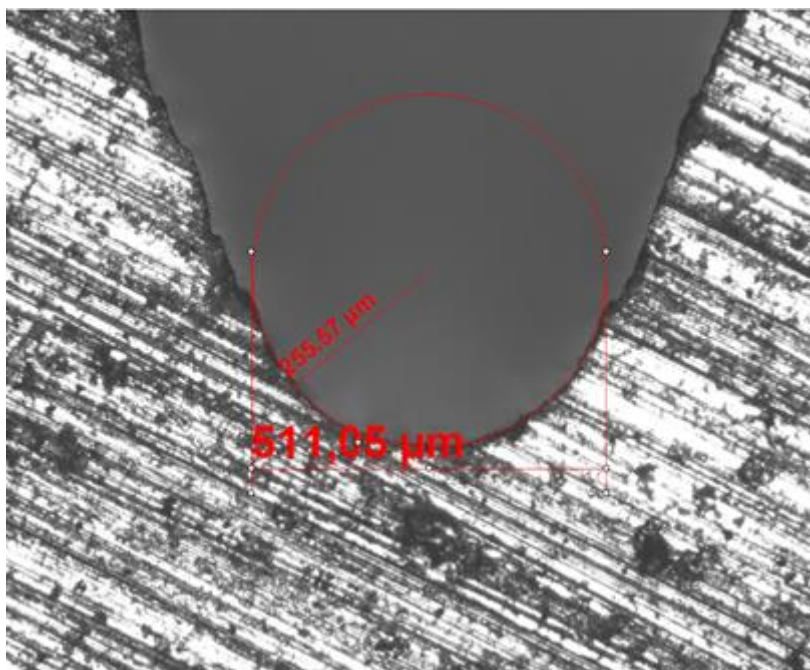
b) U-notch geometry

Rysunek 52 - Próbkę do testu udarności wahadłem Charpy'ego; Symbole L, W, B i liczby od 1 do 5, patrz Tabela 12.

Oznaczenie	Symbol	Próbka testowa V			Próbka testowa U		
		Wymiar nominalny	Tolerancja obróbki	Klasa tolerancji ^a	Wymiar nominalny	Tolerancja obróbki	Klasa tolerancji ^a
Długość	l	55 mm	± 0,60 mm	js15	55 mm	± 0,60 mm	js15
Szerokość	h	10 mm	± 0,075 mm	js12	10 mm	± 0,11 mm	js13
Grubość ^c	W	10 mm	± 0,11 mm	js13	10 mm	± 0,11 mm	js13
• standardowa próbka testowa		7,5 mm	± 0,11 mm	js13	7,5 mm	± 0,11 mm	---
• próbka o mniejszym rozmiarze		5 mm	± 0,06 mm	js12	5 mm	± 0,06 mm	---
• próbka o mniejszym rozmiarze		2,5 mm	± 0,05 mm	js12	---	---	---
Kąt nacięcia	1	45°	± 2°	---	---	---	---
Więzadło	2	8 mm	± 0,075 mm	js12	5 mm	± 0,09 mm	js13
Promień wycięcia	3	0,25 mm	± 0,025 mm	---	1 mm	± 0,07 mm	js12
Pozycja wycięcia (centrowanie)	4	27,5 mm	± 0,42 mm ^d	js15	27,5 mm	± 0,42 mm _d	js15
Kąt między płaszczyzną symetrii wycięcia a osią wzdłużną badanej próbki		90°	± 2°	---	90°	± 2°	---
Kąt między sąsiednimi powierzchniami wzdłużnymi badanej próbki	5	90°	± 2°	---	90°	± 2°	---
Chropowatość powierzchni ^b	NA	< 5 μm	---	---	< 5 μm	---	---

^a Zgodnie z normą ISO 286-1,
^b Próbki testowe powinny mieć chropowatość powierzchni lepszą niż Ra 5 μm, z wyjątkiem końców,
^c Jeśli określono inną grubość (2 mm lub 3 mm), należy również określić odpowiednie tolerancje.
^d W przypadku maszyn z automatycznym pozycjonowaniem badanego elementu zaleca się, aby tolerancja wynosiła ± 0,165 mm zamiast ± 0,42 mm,

Tabela 11 - Tolerancje dla określonych wymiarów próbki testowej.



Rysunek 53 - Weryfikacja promienia wycięcia za pomocą mikroskopu optycznego.

2.4.5. Procedura testowa

Pomiary przyrządu i szczegóły badanej próbki powinny być identyfikowalne z normami krajowymi lub międzynarodowymi. Sprzęt używany do pomiarów powinien być kalibrowany w odpowiednich odstępach czasu (maszyna testująca powinna być zainstalowana i zweryfikowana zgodnie z ISO 148-2).

Geometria zaczepu powinna być określona jako zaczep 2 mm lub zaczep 8 mm. Zaleca się, aby promień bijaka był przedstawiony jako indeks dolny w następujący sposób: KV₂ lub KV₈ oraz KU₂ lub KU₈. Należy odnieść się do specyfikacji produktu w celu uzyskania wskazówek dotyczących geometrii zaczepu (Uwaga: testy przeprowadzone z zaczepami 2 mm i 8 mm mogą dać różne wyniki, patrz ISO 148-1).

O ile nie określono inaczej, testy należy przeprowadzać w temperaturze 23 °C ± 5 °C (temperatura pokojowa); jeśli określono temperaturę, próbkę należy kondycjonować do temperatury w zakresie ± 2 °C. W przypadku kondycjonowania (ogrzewania lub chłodzenia) przy użyciu ciekłego medium, próbkę należy umieścić w pojemniku na siatce, która znajduje się co najmniej 25 mm nad dnem pojemnika i jest pokryta co najmniej 25 mm cieczy, i znajduje się co najmniej 10 mm od boków pojemnika; medium należy stale mieszać i doprowadzać do określonej temperatury dowolną dogodną metodą. Urządzenie używane do pomiaru temperatury medium powinno być umieszczone w środku grupy próbek testowych, a temperatura medium powinna być utrzymywana w określonej temperaturze w zakresie ± 1 °C przez co najmniej 5 minut (jeśli różnica między temperaturą próbki a temperaturą testową jest większa niż 40°C (np. próbka testowa ma zostać schłodzona z temperatury pokojowej do -40°C); sugeruje się

odczekanie co najmniej 10÷15 minut, aby upewnić się, że próbki testowe są równomiernie kondycjonowane wzdłuż grubości).

Gdy ciekły czynnik jest bliski temperatury wrzenia, chłodzenie wyparne może znacznie obniżyć temperaturę próbki testowej w okresie między wyjęciem z cieczy a pęknięciem. W przypadku kondycjonowania (ogrzewania lub chłodzenia) przy użyciu medium gazowego, próbka powinna być umieszczona w komorze w odległości co najmniej 50 mm od najbliższej powierzchni. Poszczególne próbki powinny być oddzielone od siebie o co najmniej 10 mm. Medium powinno być stale cyrkulowane i doprowadzane do określonej temperatury za pomocą dowolnej dogodnej metody; urządzenie używane do pomiaru temperatury medium powinno być umieszczone w środku grupy próbek testowych, temperatura medium gazowego powinna być utrzymywana w określonej temperaturze w zakresie ± 1 °C przez co najmniej 30 minut przed wyjęciem próbki testowej z medium do testowania.

Inne metody ogrzewania lub chłodzenia są dozwolone, jeśli spełnione są inne stosowne wymagania (wymienione powyżej).

Gdy badanie jest przeprowadzane w temperaturze innej niż pokojowa, nie powinno upłynąć więcej niż 5 s od momentu wyjęcia próbki z medium grzewczego lub chłodzącego do momentu uderzenia przez bijak. Wyjątkiem jest sytuacja, gdy różnica między temperaturą otoczenia lub przyrządu a temperaturą próbki jest niższa niż 25 °C, w którym to przypadku czas przenoszenia próbki powinien być krótszy niż 10 s. Urządzenie przenoszące powinno być zaprojektowane i używane w taki sposób, aby temperatura próbki była utrzymywana w dopuszczalnym zakresie temperatur. Części urządzenia stykające się z próbką podczas przenoszenia z medium do maszyny powinny być kondycjonowane za pomocą próbek.

Należy zadbać o to, aby urządzenie używane do centrowania próbki testowej na kowadłach nie powodowało odbijania się złamanych końców niskoenergetycznych próbek testowych o wysokiej wytrzymałości od urządzenia do wahadła. Ta interakcja między wahadłem a próbką skutkuje błędnie wysoką wskazaną energią. Wykazano, że prześwit między końcem próbki testowej w pozycji testowej a urządzeniem centrującym lub stałą częścią maszyny powinien być równy lub większy niż 13 mm, aby uniknąć odbicia końców próbek testowych w wahadle podczas testu.

Szczypce samocentrujące, podobne do tych pokazanych na rysunku 54 dla próbek testowych z karbem V, są często używane do

przenoszą próbkę z medium do kondycjonowania temperatury do właściwych pozycji testowych; szczypce tego rodzaju eliminują potencjalne problemy z luzem wynikające z interferencji między pękniętymi połówkami próbki a stałym urządzeniem centrującym.

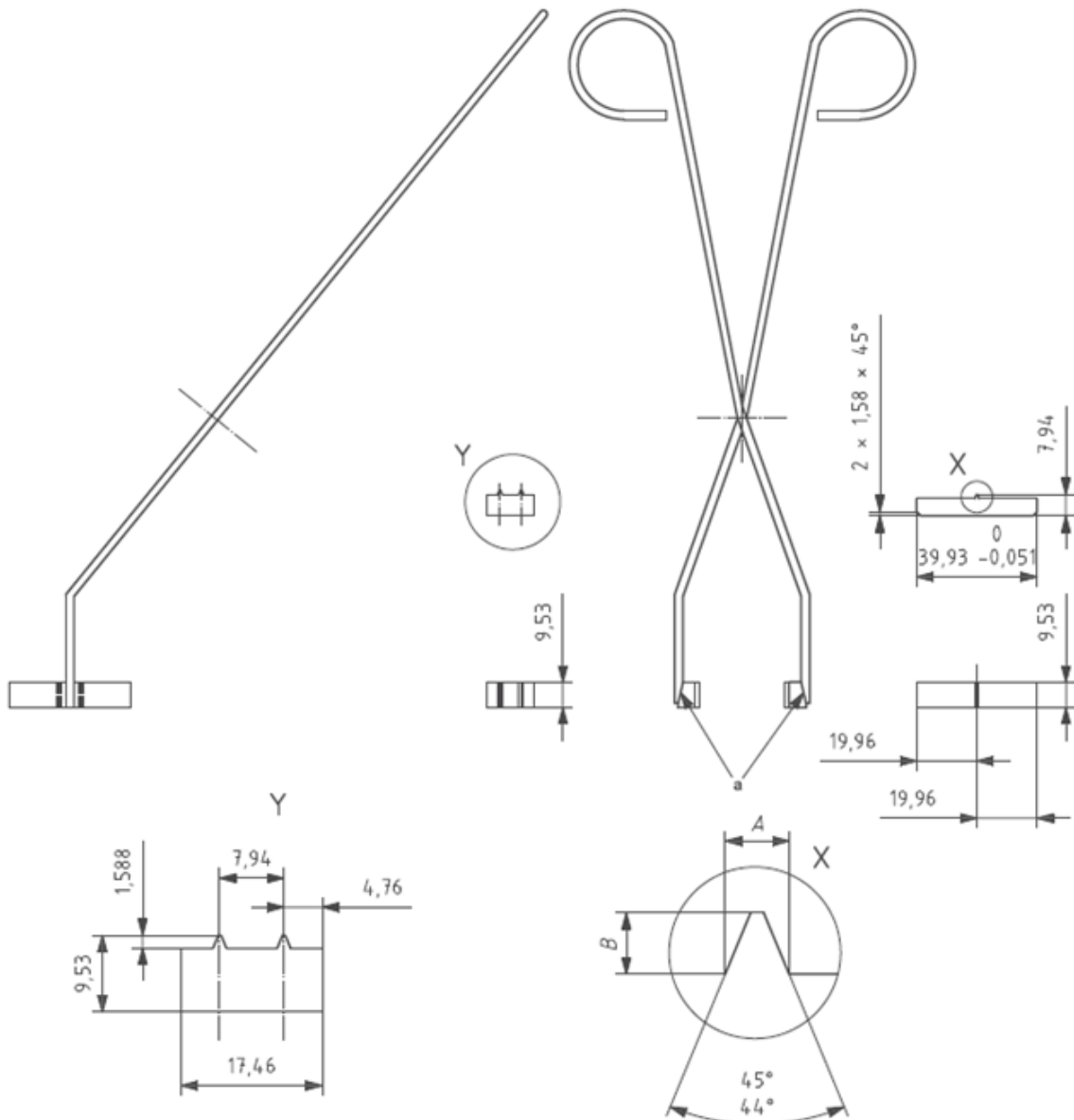
Pochłonięta energia, K , nie powinna przekraczać 80% początkowej energii potencjalnej, K_p . Jeśli pochłonięta energia przekracza tę wartość, pochłonięta energia powinna być podana jako przybliżona i powinna być odnotowana w raporcie z testu jako przekraczająca 80% wydajności maszyny. Najlepiej byłoby, gdyby test udarności był przeprowadzany przy stałej prędkości uderzenia. W teście wahadłowym prędkość zmniejsza się wraz z postępem pęknięcia. W przypadku próbek o energiach uderzenia zbliżających się do wydajności wahadła, prędkość wahadła zmniejsza się podczas pęknięcia do punktu, w którym dokładne energie uderzenia nie są już uzyskiwane.

Próbki testowe nie zawsze rozpadają się na dwie części podczas testu; w przypadku testów akceptacyjnych materiałów nie jest wymagane zgłaszanie informacji dotyczących niepełnego pęknięcia. W przypadku testów innych niż testy akceptacyjne materiałów wymagane jest zgłaszanie nieuszkodzonych próbek testowych.

W przypadku, gdy poszczególne próbki nie są zidentyfikowane w dokumentacji testowej, grupę można zidentyfikować jako uszkodzoną lub nieuszkodzoną. Próbka, która nie jest w pełni rozdzielona na dwie połówki po uderzeniu, może być uznana za uszkodzoną, jeśli dwie połówki można rozdzielić, popychając je razem bez pomocy narzędzi mechanicznych i bez zmęczenia próbki. Test akceptacji materiału to test, który służy do oceny minimalnego wymogu akceptacji.

Jeśli próbka testowa zakleszczy się w maszynie, wyniki należy pominąć, a maszynę dokładnie sprawdzić pod kątem uszkodzeń, które mogłyby wpłynąć na jej stan kalibracji. Uwaga: zakleszczenie ma miejsce, gdy uszkodzony element testowy zostanie złapany między ruchomymi i nieporuszającymi się częściami maszyny testującej. Może to spowodować znaczną absorpcję energii. Zakleszczenie można odróżnić od wtórnych śladów uderzeń, ponieważ zakleszczenie jest związane z parą przeciwstawnych śladów na próbce.

Dimensions in millimetres



Specimen width	Base width <i>A</i>	Height <i>B</i>
10	1,60 to 1,70	1,52 to 1,65
5	0,74 to 0,80	0,69 to 0,81
3	0,45 to 0,51	0,36 to 0,48

^a Steel pieces silver-soldered to tongs parallel to each other.

Rysunek 54 - Szczypce centrujące dla próbek Charpy z karbem V.

2.4.6. Wynik testu

Jeśli kontrola po zerwaniu wykaże, że jakakolwiek część oznaczenia identyfikacyjnego próbki testowej znajduje się w części próbki testowej, która jest widocznie zdeformowana, wynik testu może nie być reprezentatywny dla materiału i należy to odnotować w raporcie z testu.

Miarą odporności materiału na pękanie pod wpływem naprężeń trójosiowych, takich jak te występujące u podstawy karbu w próbce Charpy'ego, jest wielkość odkształcenia występującego w tym miejscu (w tym przypadku: skurcz). Ze względu na trudności w pomiarze tego odkształcenia, nawet po pęknięciu, rozszerzenie, które występuje na przeciwległym końcu płaszczyzny pęknięcia, jest zwykle mierzone i używane jako zamiennik skurczu.

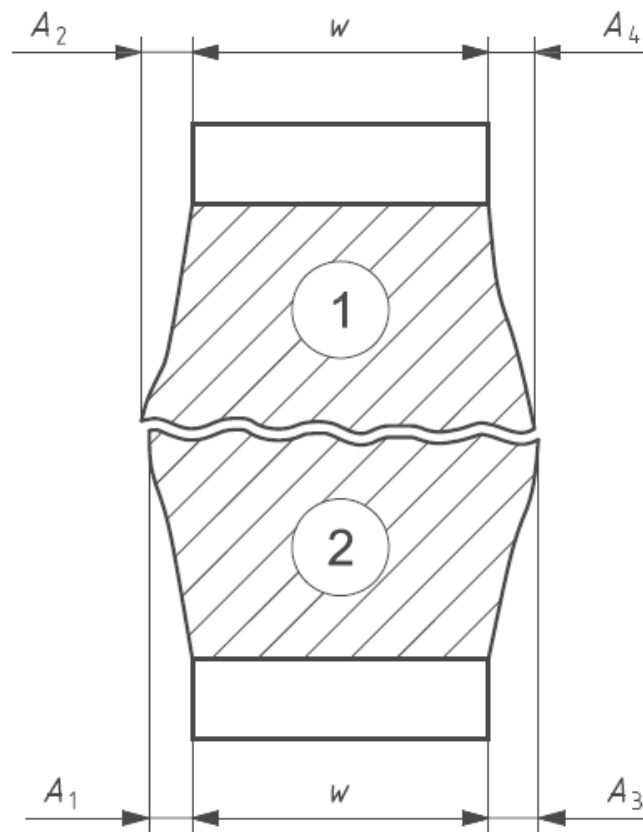
Metoda pomiaru rozszerzalności bocznej (LE) powinna uwzględniać fakt, że płaszczyzna pęknięcia rzadko przecina punkt maksymalnego rozszerzenia po obu stronach badanego elementu. Jedna połowa pękniętej próbki może zawierać maksymalne rozszerzenie dla obu stron, tylko jednej strony lub żadnej z nich; zastosowane techniki powinny zatem zapewnić wartość rozszerzenia równą sumie wyższej z dwóch wartości uzyskanych dla każdej strony, mierząc dwie połówki oddzielnie. Wielkość rozszerzenia po każdej stronie każdej połowy powinna być mierzona względem płaszczyzny określonej przez nieodkształconą część boku badanej próbki (patrz rysunek 57). Do tych pomiarów można stosować metody kontaktowe i bezkontaktowe. Rozszerzalność boczną można zmierzyć za pomocą miernika podobnego do pokazanego na rysunkach 55 i 56; zmierzyć dwie złamane połówki indywidualnie. Najpierw jednak należy sprawdzić boki prostopadłe do nacięcia, aby upewnić się, że na tych bokach nie powstały zadziory podczas badania udarowości; jeśli takie zadziory istnieją, należy je usunąć, na przykład przez pocieranie szmerglową szmatką, upewniając się, że mierzone występy nie są pocierane podczas usuwania zadziorów. Następnie umieść półpróbki razem, tak aby powierzchnie pierwotnie naprzeciwko nacięcia były skierowane do siebie. Weź jedną z połówek próbek (patrz rysunek 55) i dociśnij ją mocno do wsporników odniesienia, z występami przy kowadełku miernika. Zanotuj odczyt, a następnie powtórz ten krok z drugą połówką próbki (patrz rysunek 55), upewniając się, że mierzona jest ta sama strona; większa z dwóch wartości jest rozszerzeniem tej strony złamanej próbki testowej. Powtórz tę procedurę, aby zmierzyć występy po przeciwnej stronie, a następnie dodaj większe wartości uzyskane dla każdej strony. Na przykład, jeśli $A > A_{12}$ i $A_3 = A_4$, to $LE = A_1 + (A_3 \text{ lub } A_4)$. Jeśli $A > A_{12}$ i $A_3 > A$, w konsekwencji $LE = A_{41} + A_3$. Jeśli jeden lub więcej występów próbki testowej zostało uszkodzonych w wyniku kontaktu z kowadłem, powierzchnią montażową maszyny itp.

Powierzchnia pęknięcia próbek testowych Charpy'ego jest często oceniana na podstawie procentu występującego pęknięcia ścinającego. Im większy procent pęknięć ścinających, tym większa udarowość

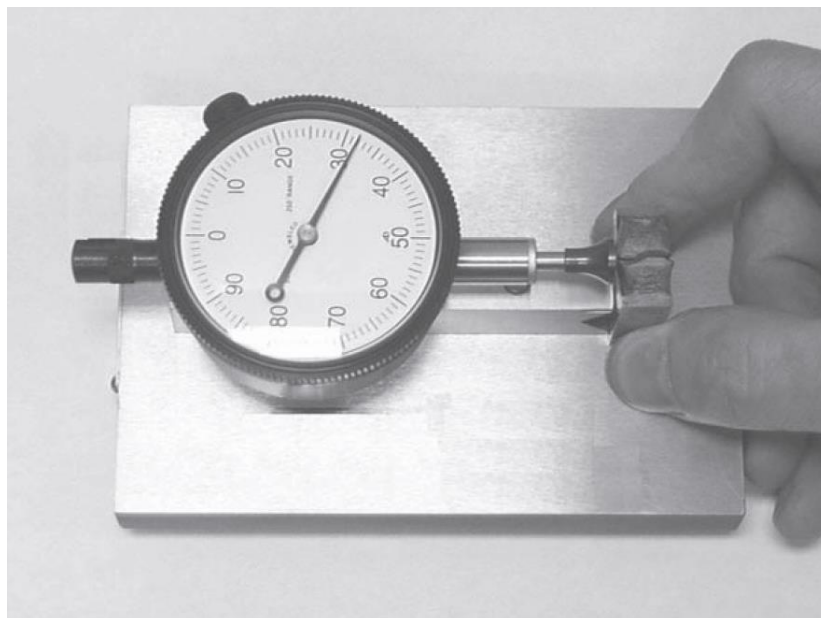
materiału. Powierzchnia pęknięcia większości próbek Charpy'ego wykazuje mieszkankę obszarów ścinania i pęknięcia płaskiego. Zakłada się, że obszary ścinania są w pełni plastyczne, ale płaskie obszary pęknięcia mogą być plastyczne, kruche lub stanowić kombinację tych trybów pęknięcia. Ponieważ ocena ta jest niezwykle subiektywna, zaleca się, aby nie była stosowana w specyfikacjach. UWAGA Termin wygląd pęknięcia włóknistego jest często używany jako synonim wyglądu pęknięcia ścinającego. Terminy wygląd pęknięcia rozszczepiającego i krystaliczność są często używane do wyrażenia przeciwieństwa pęknięcia ścinającego.

Procent pęknięcia przy ścinaniu jest zwykle określany za pomocą jednej z poniższych metod:

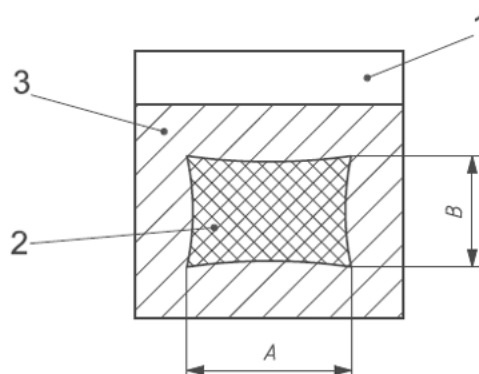
- A. pomiar długości i szerokości części rozszczepienia ("błyszczącej" części) płaskiego obszaru pęknięcia, jak pokazano na rysunku 57, i określenie procentowego ścinania z tabeli 13;
- B. porównanie wyglądu pęknięcia badanej próbki z wykresem wyglądu pęknięcia, takim jak ten przedstawiony na rysunkach 58 i 59;
- C. powiększenie powierzchni pęknięcia i porównanie jej ze skalibrowanym wykresem nakładania lub pomiar procentowego pęknięcia rozszczepienia za pomocą planimetru, a następnie obliczenie procentowego pęknięcia ścinania (jako 100% pęknięcia rozszczepienia);
- D. fotografowanie powierzchni pęknięcia przy odpowiednim powiększeniu i pomiar procentowego pęknięcia rozszczepienia za pomocą planimetru, a następnie obliczenie procentowego pęknięcia ścinania (jako 100% pęknięcia rozszczepienia);
- E. pomiar procentowego pęknięcia przy ścinaniu za pomocą technik analizy obrazu.



Rysunek 55 - Połówki złamanej próbki udarności z karbem V Charpy'ego, ilustrujące pomiar rozszerzalności poprzecznej, wymiary A , A_2 , A_3 , A_4 oraz pierwotną szerokość, wymiar W . Połówki są ponumerowane 1 i 2.



Rysunek 56 - Miernik rozszerzalności bocznej dla próbek Charpy'ego (montaż i szczegóły dotyczące miernika, patrz ISO 148-1).



Key

- 1 notch
- 2 cleavage area (brittle)
- 3 shear area (dull)

NOTE 1 Measure average dimensions *A* and *B* to the nearest 0,5 mm.

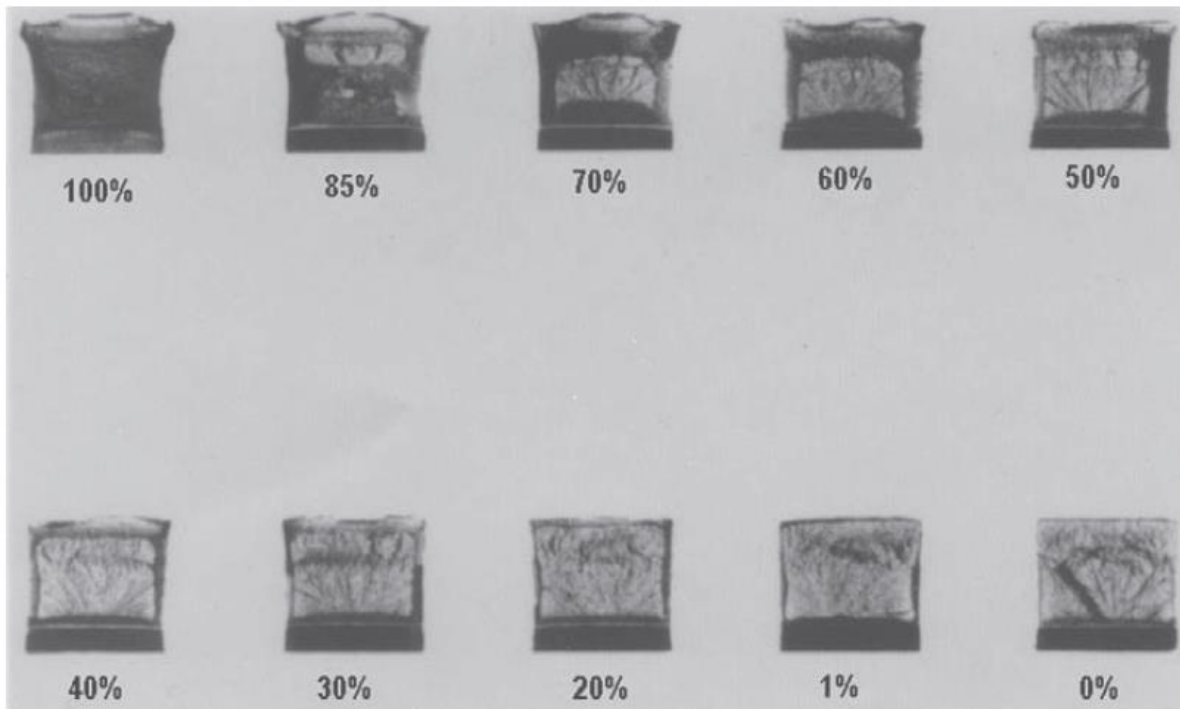
NOTE 2 Determine the per cent shear fracture using Table 3

Rysunek 57 - Określenie procentowego pęknięcia przy ścinaniu.

B [mm]	A [mm]																		
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
Procentowa zawartość przelomy plastycznego																			
1,0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1,5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2,0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2,5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3,0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3,5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4,0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4,5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5,0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5,5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6,0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6,5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7,0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7,5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8,0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

100% ścinanie jest zgłaszane, gdy wartość A lub B wynosi zero

Tabela 12 - Procentowe ścinanie dla pomiarów w milimetrach.



a) Fracture appearance charts and per cent shear fracture comparator



b) Guide for estimating fracture appearance

Rysunek 58 - Wygląd złamania.

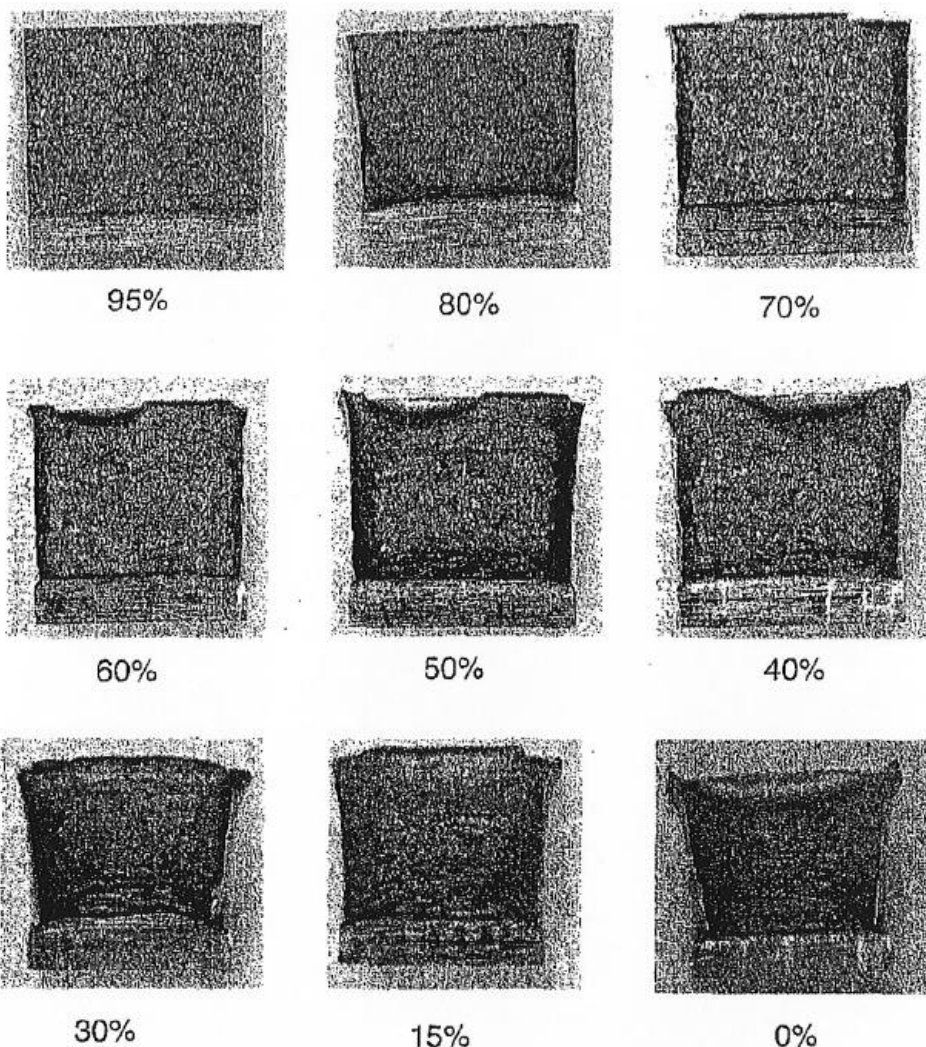
2.4.7. Raport z testów

Lista obowiązkowych informacji, które należy zawrzeć w raporcie z testu:

- A. odniesienie do standardowej metody testowej (LSO 148-1);
- B. identyfikacja badanej próbki (np. rodzaj stali i numer odlewu);
- C. rozmiar próbki testowej, jeśli jest inny niż standardowa próbka testowa;
- D. temperatura testu lub temperatura kondycjonowania próbek testowych;
- E. pochłoniętej energii, KV_2 , KV_8 , KU_2 , lub KU_8 , w zależności od przypadku;
- F. 0, czy próbka lub większość próbek w grupie próbek była pęknięta (nie jest wymagane w przypadku testów akceptacji materiału);
- G. wszelkie nieprawidłowości, które mogły mieć wpływ na test.

Informacje opcjonalne:

- A. orientacja próbki testowej (patrz ISO 3785)
- B. początkowa energia potencjalna maszyny wytrzymałościowej, w dżulach;
- C. ekspansja boczna
- D. wygląd pęknięcia ścinającego;
- E. zaabsorbowana energia/krzywa temperatury (patrz przykłady);
- F. boczna krzywa rozszerzalności/temperatury;
- G. wygląd pęknięcia ścinającego/krzywa temperatury;
- H. temperatura przejścia i kryteria stosowane do jej (ich) określenia;
- I. liczba elementów testowych, które nie zostały całkowicie uszkodzone podczas testu;
- J. data (miesiąc i rok) ostatniej pełnej weryfikacji bezpośredniej i pośredniej;
- K. niepewność pomiaru pochłoniętej energii (patrz rozdział o niepewności)



Rysunek 59 - Wygląd pęknięcia; procent krystalicznego (kruchej) obszaru; obraz pobrany z SEP 1670).

2.4.8. Przykład 1

Krzywa pochłoniętej energii/temperatury (krzywa KV/T) pokazuje pochłoniętą energię w funkcji temperatury testu dla danego typu badanego elementu, patrz rysunek 60. Ogólnie rzecz biorąc, krzywą uzyskuje się poprzez narysowanie dopasowanej krzywej przez poszczególne wartości. Kształt krzywej i rozrzut wartości testowych zależą od materiału, kształtu próbki i prędkości uderzenia. W przypadku krzywej ze strefą przejściową od ciągliwej do kruchej, rozróżnia się strefę górnej półki, strefę przejściową i strefę dolnej półki.

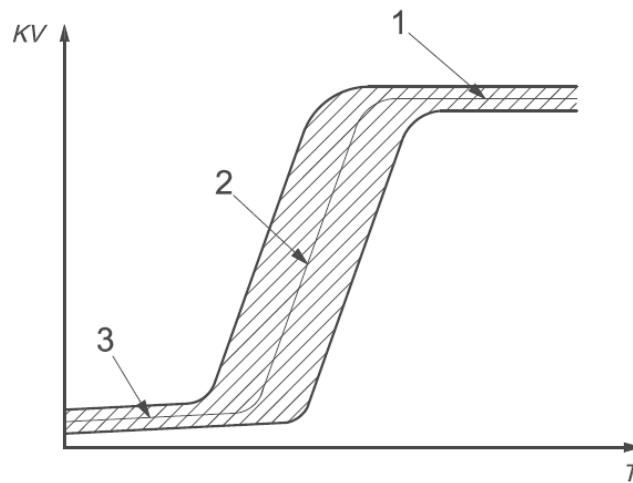
Temperatura przejścia, T_t , charakteryzuje położenie stromego wzrostu na krzywej zaabsorbowanej energii/temperatury. Ponieważ stromy wzrost zwykle rozciąga się na dość szeroki zakres temperatur, nie może istnieć ogólnie stosowana definicja temperatury przejścia. Następujące kryteria zostały między innymi uznane za przydatne do określenia temperatury przejścia:

Temperatura przejścia, T_t , to temperatura, w której

- A. osiągnięta zostanie określona wartość pochłoniętej energii, np. $KV_8 = 27 \text{ J}$,
- B. osiągnięty zostanie określony procent pochłoniętej energii wartości górnej półki, np. 50%,
- C. występuje określona część pęknięcia ścinającego, np. 50%, oraz
- D. osiągnięty zostanie określony poziom rozszerzalności bocznej, np. 0,9 mm.

Wybór metody stosowanej do określenia temperatury przejścia powinien być określony w normie lub specyfikacji produktu lub w drodze porozumienia.

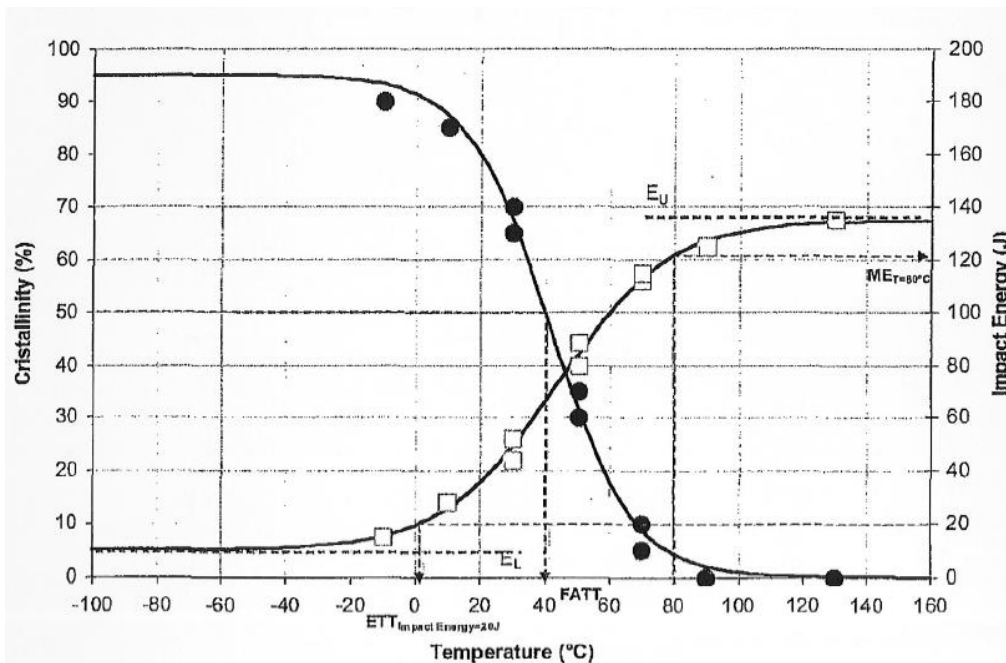
Norma SEP 1670 może posłużyć jako przykład do wykonania dopasowania punktów danych eksperymentalnych i wybrania odpowiedniej temperatury testowania w celu uzyskania krzywej przejściowej. Taka norma uwzględnia procent krystaliczności (kruchy obszar w procentach) w celu określenia FATT50 (temperatura przejścia wyglądu pęknięcia przy 50% krystaliczności) lub innego FATT na krzywej przejściowej (patrz rysunek 61); SEP 1670 zapewnia również plan badań z liczbą próbek do przetestowania w każdej temperaturze (patrz rysunek 62).



Key

- T temperature
- KV absorbed energy
- 1 upper-shelf zone
- 2 transition zone
- 3 lower-shelf zone

Rysunek 60 - Schematycznie przedstawiona krzywa pochłoniętej energii/temperatury.



Rysunek 61 - Wykres przedstawiający zasadę określania wartości charakterystycznych z krzywych kompensacji (frakcja kruchego pęknięcia i energia uderzenia karbu w funkcji temperatury); uwaga: E_U to energia pochłonięta przez górną półkę, E_L to energia pochłonięta przez dolną półkę, a $ME_{T=80^\circ C}$ to energia uderzenia w temperaturze $80^\circ C$, $ETT_{Impact\ Energy=20J}$ to temperatura przy $20\ J$ pochłoniętej energii, a $FATT$ to temperatura przy 50% krystaliczności.



Temperature in °C	Number of samples
T_{start}	1
$T_{start} - 20\text{ °C}$	2
$T_{start} - 40\text{ °C}$	1
$T_{start} - 60\text{ °C}$	1
$T_{start} + 20\text{ °C}$	2
$T_{start} + 40\text{ °C}$	1
$T_{start} + 80\text{ °C}$	1
T freely selectable	1

Rysunek 62 - SEP 1670 zawiera również plan testów z liczbą próbek do przetestowania w każdej temperaturze.

2.4.9. Przykład 2

Próbka pobrana ze spiny czołowej o długości 40 mm i grubości 10 mm.

Bez żadnych wymagań dotyczących nacinania i metody testowania:

- Nominał podstawowy: $BW / (L_f a_f)$
- Dla tego przykładu: $BW / [40 \cdot 10]$

Z dodatkowymi wymaganiami (kwadratowe nacięcie czołowe i metoda testowa):

- Kompleksowa denominacja: $BW / (L_f a_f) / S_r$ (patrz rysunek 55)
- Dla tego przykładu: $BW / [40 \cdot 10] / S_r$ (Patrz rysunek 55)

2.5. Próba łamania połączeń spawanych

2.5.1. Przedmowa

Próba pęknięcia to prosta metoda badania jakości połączenia wykonanego w procesie spawania. W odróżnieniu od próby rozciągania, podczas testu nie rejestruje się ani maksymalnego obciążenia dla pęknięcia, ani przemieszczenia; jedynym zakresem testu jest rozerwanie spoiny w celu ujawnienia i zbadania wad lub niedoskonałości spawalniczych obecnych w złączu.

Celem takiej metody jest zapewnienie kontroli równoległej do objętościowych badań nieniszczących (np. badań radiograficznych i ultradźwiękowych), gdy mogą być one trudne do zastosowania lub gdy wymagane jest dalsze badanie w celu określenia jakości spoiny. W związku z tym, wraz z wykonaniem próby pęknięcia, przeprowadza się badanie wizualne (zgodnie z ISO 17637) i kwantyfikację niedoskonałości, stosując normy ISO 5817 i ISO 10042 oraz określa się poziom jakości spoiny. Następnie uzyskany poziom jakości jest porównywany z wymaganiami w celu zweryfikowania zgodności wyniku.

W tym rozdziale przytoczono odniesienia normatywne do przeprowadzenia testu pęknięcia oraz opisano metodę testową ISO 9017 (test pęknięcia).

2.5.2. Referencje

- ISO 9017 Badania niszczące spoin w materiałach metalowych - Próba pęknięcia
- ISO 5817 Spawanie - Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (spawanie wiązką)
- Wyłączone) - Poziomy jakości dla niedoskonałości
- ISO 10042 Spawalnictwo - Złącza spawane łukowo z aluminium i jego stopów - Poziomy jakości dla niezgodności spawalniczych
- ISO 17637 Badania nieniszczące spoin - Badania wizualne połączeń spawanych

2.5.3. Wprowadzenie

Zakres badania pęknięcia polega na zbadaniu powierzchni pęknięcia złącza spawanego (złącza spawanego) w celu zidentyfikowania i określenia ilościowego niedoskonałości zgodnie z normami ISO 17637 (badanie wizualne) oraz ISO 5817 lub ISO 10042 (poziomy jakości dla niedoskonałości złączy spawanych ze stali, niklu, tytanu i ich stopów lub odpowiednio dla aluminium i jego stopów). W związku z tym połączenie musi być zawsze rozerwane na dwie części, aby odsłonić badane powierzchnie pęknięć. Test pęknięcia, w którym nie uzyskuje się pęknięcia, nie jest ważny.

Metoda testowa opisana w normie ISO 9017 określa rozmiary próbek testowych i procedury przeprowadzania testów pęknięcia w celu uzyskania informacji o rodzajach, rozmiarach i rozkładzie wewnętrznych niedoskonałości, takich jak porowatości, pęknięcia, brak stopienia, brak penetracji i wtrącenia stałe na powierzchni pęknięcia. Test opisany w normie ISO 9017 ma zastosowanie do materiałów metalicznych we wszystkich formach produktów ze złączami wykonanymi w dowolnym procesie spawania o grubości większej lub równej 2 mm.

Metoda sugeruje różne techniki pęknięcia złącza przez metal spoiny w celu zbadania powierzchni pęknięcia. Test (złamanie złącza) należy przeprowadzić w temperaturze pokojowej ($23 \pm 5^\circ\text{C}$); ponadto zaleca się stosowanie karbów w celu lepszego złamania próbek. Co więcej, wymiary karbu i temperatura mogą być zmieniane w celu wywołania pęknięcia. Zasadniczo, w celu lepszego wywołania pęknięcia, można obniżyć temperaturę badania (np. dla materiałów ciągliwych) i zwiększyć rozmiar karbu.

Wreszcie, pęknięcie może być wywołane przez zginanie lub rozciąganie, obciążenie statyczne lub dynamiczne.

W poniższej tabeli przedstawiono listę terminów przyjętych w normie ISO 9017 wraz z ich opisami i definicjami (patrz Tabela 14).

Termin	Definicja	Opis
-	Element do badań	Próbka do zbadania w miejscu pobrania próbek (patrz rysunki 63-66)
-	Próbka testowa	Fragment próbki pobrany w celu przeprowadzenia testu pęknięcia (patrz rysunki 68-70)
L_f	Długość egzaminacyjna	Długość próbki mierzona wzdłuż osi spoiny pomiędzy dowolnymi nacięciami bocznymi (mierzona w [mm])
ΣL_f	Całkowita długość egzaminacyjna	Suma długości wszystkich próbek składających się na próbkę, mierzona wzdłuż osi spoiny, powierzchni pęknięcia między nacięciami bocznymi próbek (mierzona w [mm]).
a_f	Grubość próbki	grubość obszaru pęknięcia dla każdej badanej próbki (mierzona w [mm])
A_f	Obszar badania	iloczyn długości badania i grubości badania dla każdej badanej próbki (mierzone w [mm ²])
ΣA_f	Całkowity obszar badania	suma wszystkich badanych obszarów (mierzone w [mm ²])
W	Początkowa szerokość	Oryginalna szerokość próbki testowej (patrz Rysunek 68)
X	Długość całkowita	Całkowita długość spoiny w badanym elemencie
t, t_1, t_2	-	Grubość badanej próbki (mierzona w [mm]), patrz Rysunek 69 i 70
l_1, l_2	-	Długość badanego elementu (mierzona w [mm])
D	-	Średnica zewnętrzna rury (mierzona w [mm])
FW	Spoina pachwinowa	Spoina wykonywana w narożniku między dwiema płytami lub jedną płytą i rurą (np. jedna prostopadła do drugiej); patrz rysunki 65 i 66.
BW	Spawanie doczołowe	Spawanie wykonywane między dwiema płytami dwóch rur w celu przedłużenia ich wzdłuż ich osi wzdłużnej (np. rur) lub wzdłuż ich szerokości (np. płyt); patrz rysunki 63 i 64.

S	Nacięcie boczne	Wycięcie z boku (lub boków) spoiny
F	Wycięcie lica	Wzdłużne nacięcie na powierzchni spoiny
R	Nacięcie grani	Wzdłużne nacięcie na rdzeniu spoiny
q	Kwadratowe wycięcie	Patrz rysunek 67
r	Okrągłe wycięcie	Patrz rysunek 67
s	Ostre wycięcie	Patrz rysunek 67
S_q	Nacięcie boczne	Kwadrat (q) Wycięcie boczne (S)
S_r	Nacięcie boczne	Okrągły (r) Wycięcie boczne (S)
S_s	Nacięcie boczne	Ostry (s) Nacięcie boczne (S)
F_q	Wycięcie lica	Kwadrat (q) Wycięcie lica (F)
F_r	Wycięcie lica	Okrągły (r) Wycięcie lica (F)
F_s	Wycięcie lica	Ostry (s) Wycięcie lica (F)
R_q	Nacięcie grani	Kwadrat (q) Wycięcie grani (R)
R_r	Nacięcie grani	Okrągły (r) Wycięcie grani (R)
R_s	Nacięcie grani	Ostry (s) Nacięcie grani (R)

Tabela 13 - Lista terminów i definicji zaczerpnięta z normy ISO 9017.

2.5.4. Próbkki testowe

Wymiary próbek do badań są określone na rysunkach od Rys. 63 do Rys. 66; próbka do badań powinna zapewniać wystarczającą liczbę próbek do badań dla wymaganych ΣL_f i ΣA_f . Wartości L_f i A_f oraz liczba próbek do badań powinny być określone w normie aplikacji lub w porozumieniu między umawiającymi się stronami. Złącza spawane w płytach powinny być cięte poprzecznie do złącza spawanego w próbkach o w przybliżeniu równej długości spoiny. W przypadku spoin czołowych oś spoiny powinna pozostać w środku próbki.

W przypadku złączy spawanych w rurach, próbka powinna zawierać co najmniej dwie próbki. Podczas przeprowadzania prób zginania, równa liczba próbek powinna być poddana próbie z rozciąganą nasadą i rozciąganą powierzchnią czołową. Jeśli średnica rury jest zbyt mała, aby usunąć wymaganą liczbę próbek, należy przyspawać dodatkowe próbki.

Każda badana próbka powinna być oznaczona w celu określenia jej dokładnej lokalizacji w wytworzonym produkcie lub w złączach, z których została usunięta. Po wyjęciu z próbki, każda próbka powinna zostać oznaczona.

Metoda ekstrakcji powinna być tak dobrana, aby uniknąć wprowadzenia szkodliwych efektów termicznych lub mechanicznych. Zasadniczo należy odrzucić część 25 mm z obu końców spoin testowych, chyba że wymagane są informacje o końcach spoin [np. niedoskonałości początku / końca]. W zależności od materiałów złącza należy wybrać odpowiednią metodę cięcia zgodnie z poniższymi rozważaniami:

- Próbkę do badań powinny być cięte termicznie lub mechanicznie;
- inne materiały metalowe mogą być cięte wyłącznie mechanicznie.

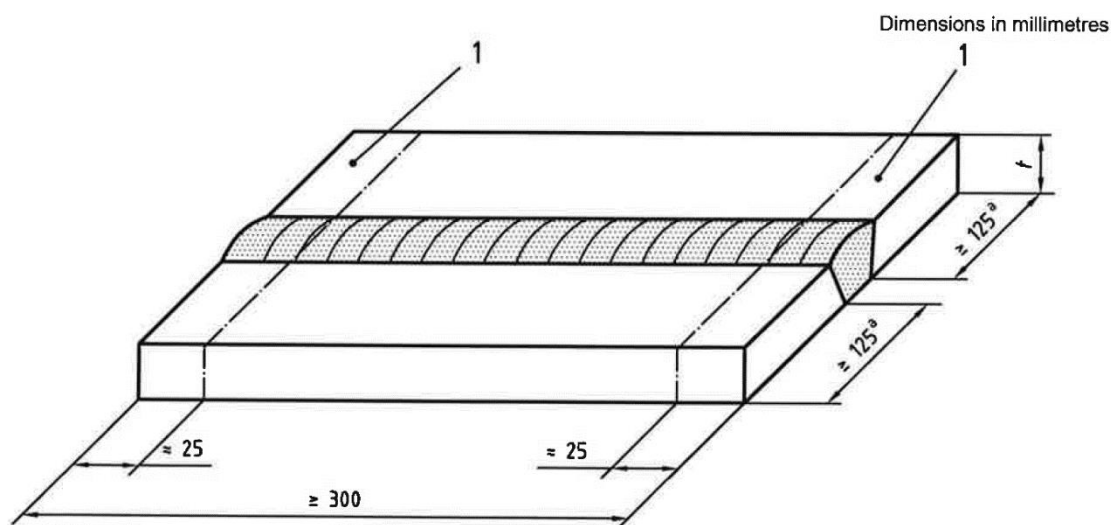
Pękanie spoin w płytach lub rurach może być wspomagane przez jeden lub więcej z poniższych czynników:

- usuwanie wzmocnienia spoiny
- nacinanie obu krawędzi spoiny (nacinanie boczne);
- nacięcie w zbrojeniu (nacięcie wzdłużne).

W zależności od plastyczności metalu spoiny można stosować nacięcia kwadratowe, okrągłe lub ostre (patrz rysunki od 67 do 70). W przypadku materiałów o wysokiej ciągliwości (np. aluminium i miedź, zalecane jest stosowanie ostrych karbów).

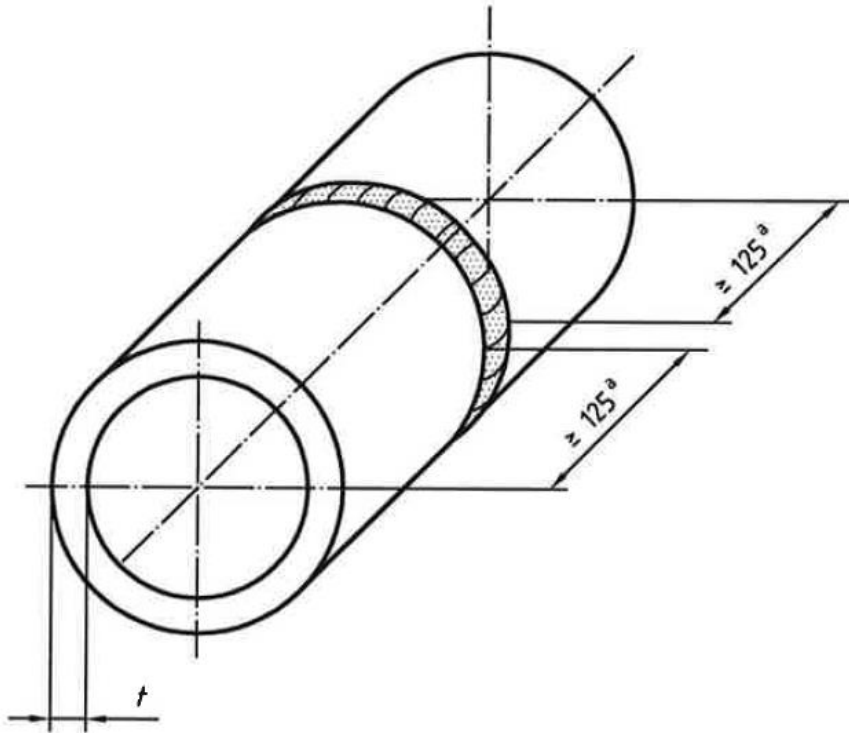
Głębokość karbów powinna być wystarczająca do wywołania pęknięcia w spoinie. Głębokość karbu powinna być taka, aby:

- wycięcie boczne: $L_f \geq 70\% W$ lub $\Sigma L_f \geq 60\% X$
- karb wzdłużny: $a_f \geq 80\% t$ lub t_1 lub t_2

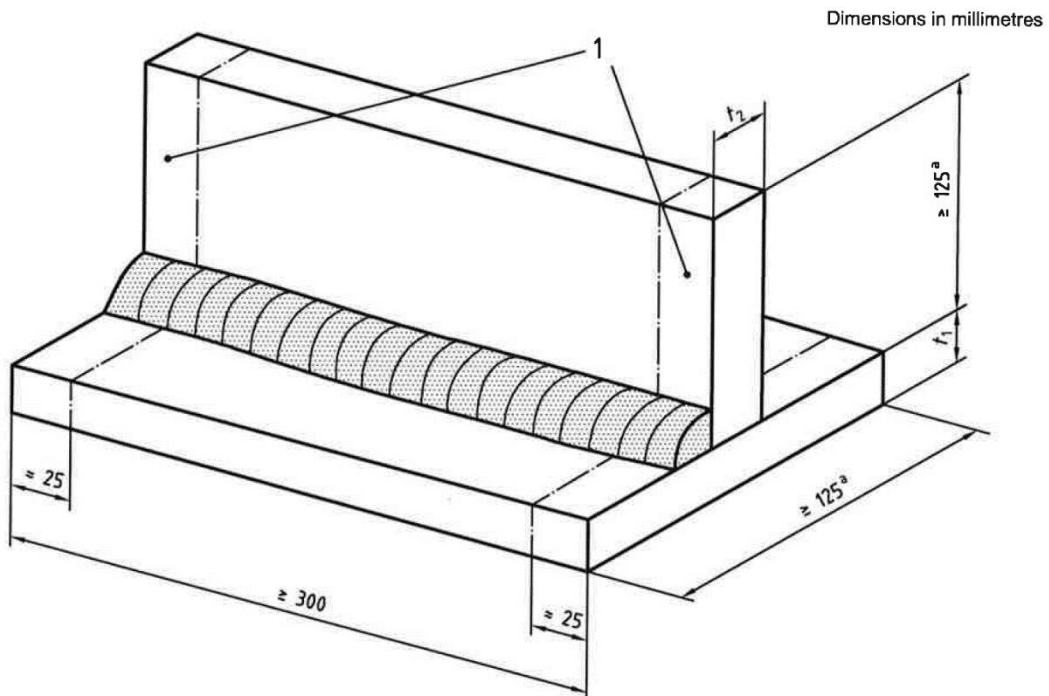


Rysunek 63 - Próbkę do spoin czołowych w płycie; Uwaga: 1 = odrzut; $a \geq 150$ mm dla materiałów o wysokiej przewodności cieplnej (np. aluminium i miedź).

Dimensions in millimetres

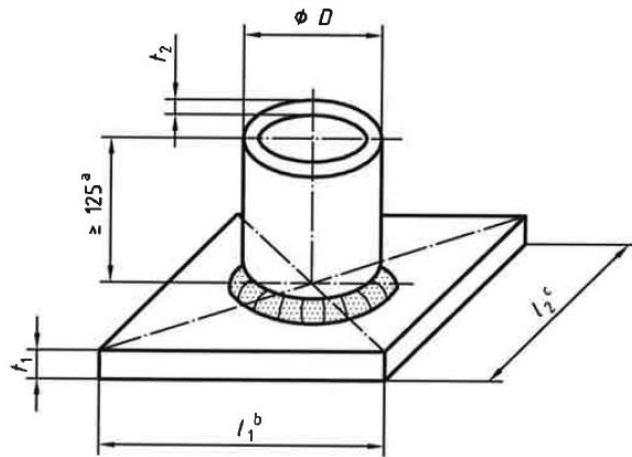


Rysunek 64 - Próbkę do spoin czołowych w rurze; Uwaga: $a \geq 150$ mm dla materiałów o wysokiej przewodności cieplnej (np. aluminium i miedź).



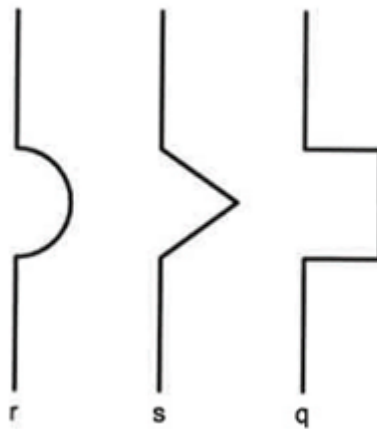
Rysunek 65 - Próbkę do spoin pachwinowych na płycie; Uwaga: ≥ 150 mm dla materiałów o wysokiej przewodności cieplnej (np. aluminium i miedź).

Dimensions in millimetres

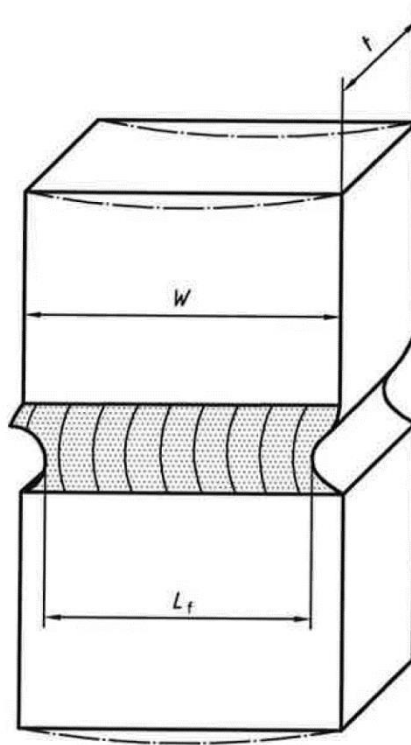


- a ≥ 150 mm for materials of high thermal conductivity (e.g. aluminium and copper)
- b $l_1 \approx l_2; l_1 \geq (D + 100)$
- c $l_2 \geq (D + 100)$

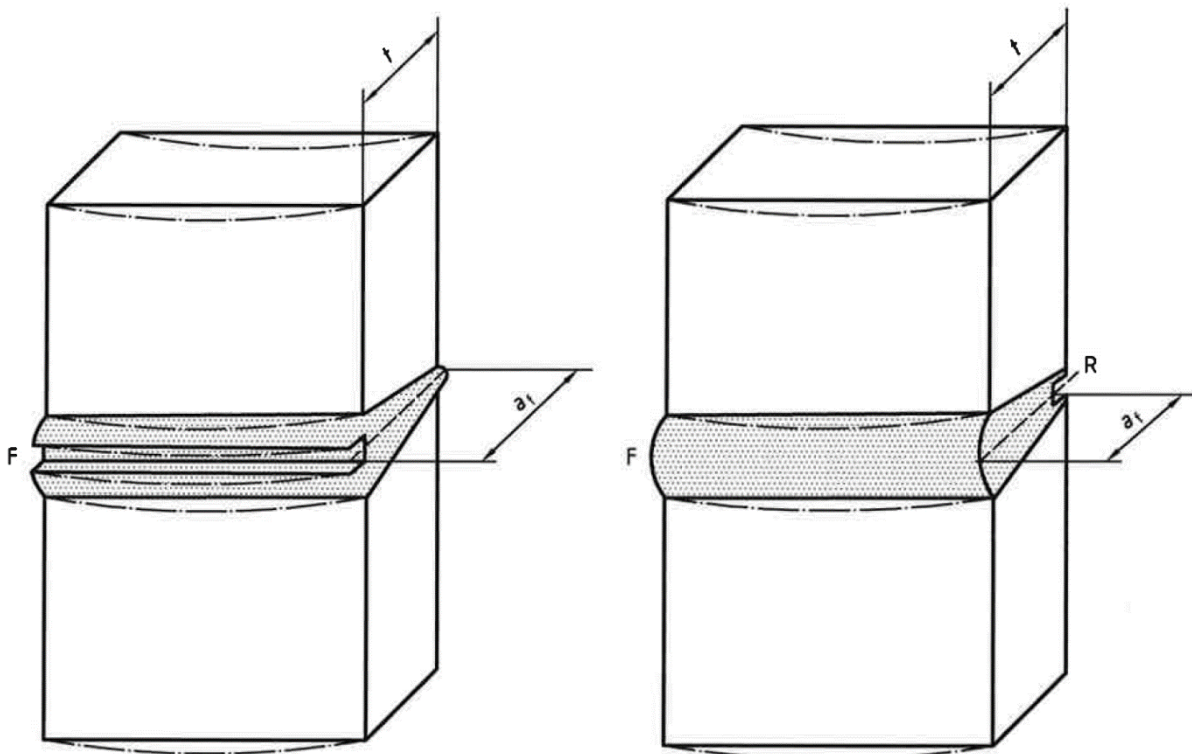
Rysunek 66 - Próbkę do spoin pachwinowych na rurze.



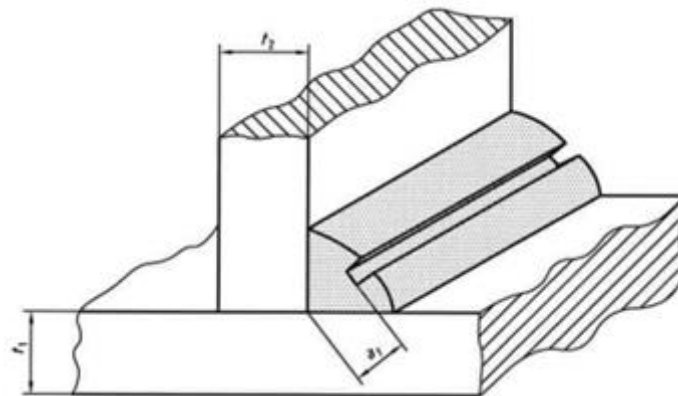
Rysunek 67 - Profile karbu (r = okrągły; s = ostry; q = korbę).



Rysunek 68 - Wycięcia boczne (należy pamiętać, że pełne linie dotyczą płyt, a linie przerywane/kropkowane - rur).



Rysunek 69 - Wzdłużne karby w spoinach czołowych, po lewej: Nacięcia czołowe; po prawej: Karby korzeniowe (należy pamiętać, że pełne linie dotyczą płyt, a linie przerywane/kropkowane dotyczą rur).



Rysunek 70 - Wzdłużne nacięcia w spoinach pachwinowych.

2.5.5. Procedura testowa

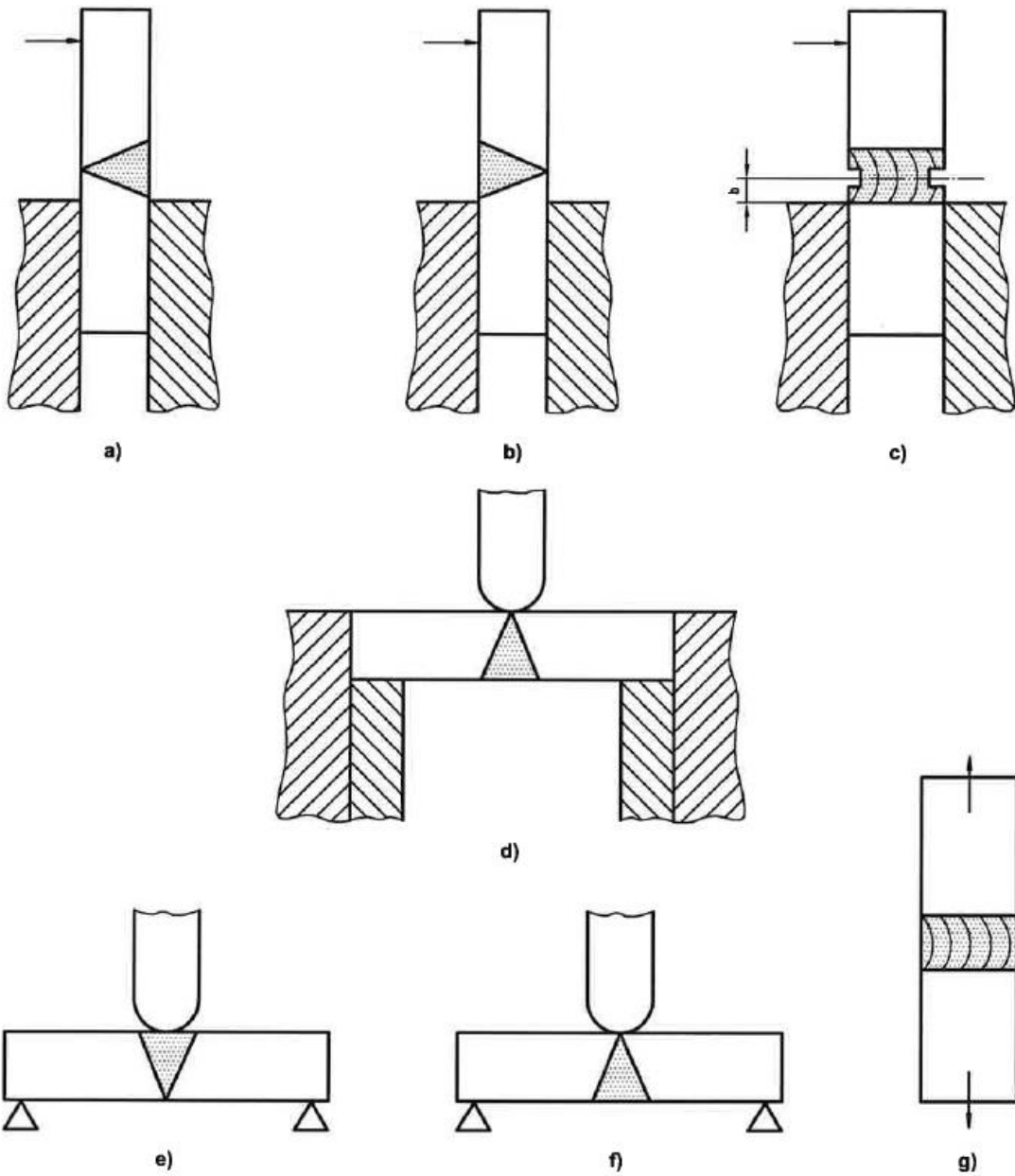
Próba łamania może być przeprowadzane przez:

- dynamiczne uderzenia (np. młotkiem); patrz rysunki 71 a) do c) dla BW i rysunek 72 a) dla FW

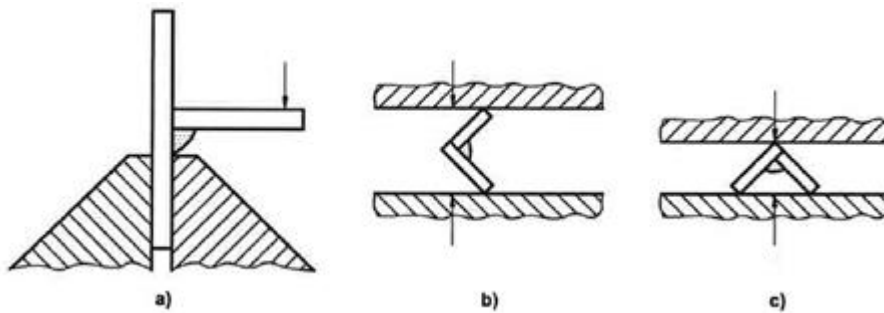
- przyłożenie obciążenia poprzez wciśnięcie w imadło, giętarkę lub prasę warsztatową; patrz rysunki 71 d) do f) dla BW oraz rysunki 72 c) i c) dla FW
- przykładanie obciążenia poprzez rozciąganie (np. za pomocą maszyny do prób rozciągania), patrz rysunek 71 g)

W przypadku materiałów ciągliwych przydatna może być minimalna odległość (b_{min}) między karbem a szczękami zacisków urządzenia, patrz rysunek 71 c). Ponadto w przypadku ciągliwych metali spawalniczych, takich jak stale austenityczne, aluminium, miedź nikiel i ich stopy, może być konieczne ograniczenie grubości próbki i grubości gardzieli, zwiększenie szerokości karbu, zmniejszenie promienia karbu i zwiększenie ciężkości (obciążenie udarowe, obciążenie młotkiem) próby, jeśli wymagane jest pęknięcie w metalu spoiny. W przypadku ciągliwych metali spawalniczych, takich jak stal ferrytyczna, może być konieczne schłodzenie próbki do badań.

Grubsze materiały mogą zostać złamane uderzeniami młotka. W przypadku stosowania giętarki, średnica matrycy powinna być dobrana w taki sposób, aby złamanie nastąpiło bez konieczności naprzemiennego gięcia. Zginanie może być wykonywane ze spoiną prostopadłą lub poprzeczną do kierunku przyłożonej siły zgodnie z rysunkami 71 c) do f). Najniższy limit dla testu dla aluminium wynosi około 8 mm grubości.



Rysunek 71 - Przykłady metod testowania BW (nacięcia zgodnie z rysunkami 47-49).



Rysunek 72 - Przykłady metod testowania FW (nacięcia zgodnie z rysunkami 47 i 50).

2.5.6. Wynik testu

Po pęknięciu próbki, powierzchnia pęknięcia powinna zostać zbadana wizualnie zgodnie z normą ISO 17637. W celu wyraźnego wykrycia i identyfikacji niedoskonałości można użyć szkła o niskim powiększeniu (np. do pięciokrotnego powiększenia).

Należy podać pełny opis wyglądu powierzchni pęknięcia oraz rodzaj i lokalizację wszelkich występujących niedoskonałości. Należy stwierdzić, że jakość została oceniona zgodnie z normą ISO 5817 lub ISO 10042. Poziom jakości jest określony przez normę aplikacji lub przez porozumienie między stronami umowy.

Raport z testu powinien zawierać następujące informacje:

- odniesienie do zastosowanej standardowej metody badania (ISO 9017);
- identyfikacja badanej próbki;
- nazwa próbki zgodnie z tabelą 14;
- rejestry typów, lokalizacji i rozmiarów wszystkich niedopuszczalnych niedoskonałości zgodnie z odpowiednim poziomem jakości.

2.5.7. Przykład 1

Próbka pobrana ze spiny pachwinowej o długości 40 mm i grubości 10 mm.

Bez żadnych wymagań dotyczących nacinania i metody testowania:

- Podstawowa denominacja: $FW / (L_f a_f)$
- Dla tego przykładu: $FW / [40 \cdot 10]$

Z dodatkowymi wymaganiami (kwadratowe nacięcie czołowe i metoda testowa):

- Kompleksowa denominacja: $FW / (L_f a_f) / F_q$ (patrz rysunek 70)
- Dla tego przykładu: $FW / [40 \cdot 10] / F_q$ (patrz rysunek 70)

2.5.8. Przykład 2

Próbka pobrana ze spiny czołowej o długości 40 mm i grubości 10 mm.

Bez żadnych wymagań dotyczących nacinania i metody testowania:

- Nominał podstawowy: $BW / (L_f a_f)$

- Dla tego przykładu: $BW / [40 \cdot 10]$

Z dodatkowymi wymaganiami (kwadratowe nacięcie czołowe i metoda testowa):

- Kompleksowa denominacja: $BW / (L_f a_f) / S_f$ (patrz rysunek 68)
- Dla tego przykładu: $BW / [40 \cdot 10] / S_f$ (Patrz rysunek 68)

2.5.9. Przykład 3

Przykład typowego raportu z testu, patrz Rysunek 73.

Example of a test report

No.

According to pWPS

According to test result "fracture test"
test result "....."

Manufacturer:

Purpose of the examination:

Form of product:

Parent metal:

Consumable:

Denomination of test piece:

Table A.1 — Fracture test in accordance with ISO 9017

Test specimen	Denomination	Results	
		Type and size of imperfections	Quality level

Examiner or examining body: Certified by:

.....

(name, date and signature) (name, date and signature)

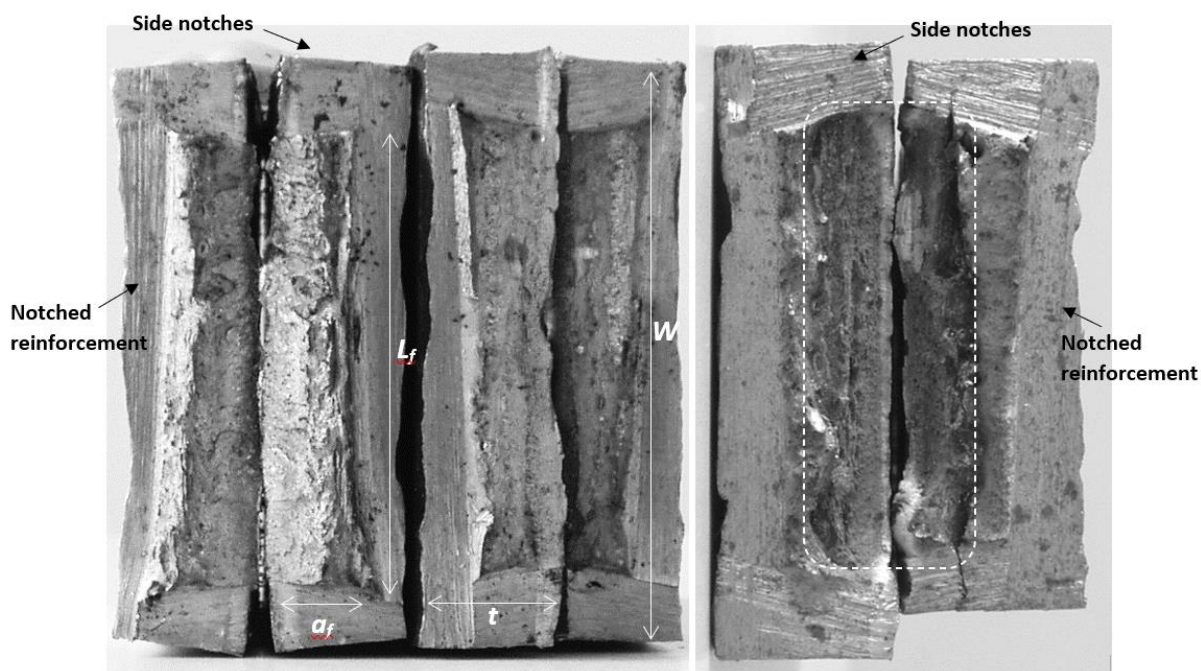
Rysunek 73 - Przykład raportu z testu zgodnie z normą ISO 9017.

2.5.10. Przykład 4

Przykładowe powierzchnie pęknięć czterech próbek BW z okrągłymi wycięciami bocznymi (S_r) i z karbowanym wzmocnieniem (okrągłe wycięcie czołowe, F_r) po pęknięciu, patrz Rysunek 74.

Próbki po lewej stronie wykazują ciągłą morfologię powierzchni pęknięcia bez istotnych wad i niedoskonałości (dopuszczalna powierzchnia), próbki po prawej stronie (należy zwrócić uwagę na dwie połówki różnych próbek) ujawniły pewne porowatości i inne niedoskonałości (zaznaczone białym przerywanym prostokątem) na powierzchniach pęknięć (patrz rysunek 74).

Ponadto na tym samym rysunku podano długość badania (L_f) i grubość badania (a_f) wraz z pierwotną grubością (t) i pierwotną szerokością próbki (W).



Rysunek 74 - Powierzchnie pęknięcia próbek BW ze zbrojeniem S_r i karbowanym (F_r).

2.6. Pomiar twardości połączeń spawanych

2.6.1. Definicja twardości

Twardość to właściwość materiału, która umożliwia mu odporność na odkształcenia plastyczne, zwykle poprzez wgniecenie. Określa się ją poprzez pomiar trwałej głębokości wgłębienia. Biorąc pod uwagę stałe obciążenie i określony wgłębnik, im mniejsze jest wgłębienie, tym twardszy jest materiał. Twardość można jednak również ocenić na podstawie odporności na zarysowanie lub przecięcie przez inny materiał.

Twardość nie jest neodłączną właściwością materiału podyktowaną precyzyjnymi definicjami w zakresie podstawowych jednostek masy, długości i czasu. Wartość twardości jest wynikiem zdefiniowanej procedury pomiarowej.

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

$$HV = 1.854 \cdot \frac{F}{d^2}$$

Gdzie F to przyłożone obciążenie (mierzone w kilogramach-siła), d = średnia arytmetyczna dwóch przekątnych, d_1 i d_2 w mm, a d^2 to powierzchnia wgłębienia (mierzona w milimetrach kwadratowych).

Po określeniu średniej przekątnej wgłębienia twardość Vickersa można obliczyć ze wzoru, ale możemy również użyć tabel konwersji twardości.

Twardość Vickersa, HV, jest oznaczana jak pokazano w poniższym przykładzie.

2.6.2. Metody pomiaru twardości

Zazwyczaj do pomiaru twardości metali stosuje się trzy rodzaje metod testowych, tj. test twardości Brinella, test twardości Rockwella i test twardości Vickersa. Różnią się one od siebie zastosowaniem różnych wgłębników. Hartowana stalowa lub węglkowa kulka o średnicy 10 mm jest zwykle używana jako wgłębnik w teście twardości Brinella, diament lub stalowy stożek w teście twardości Rockwella i diamentowy wgłębnik w kształcie piramidy w teście twardości Vickersa.

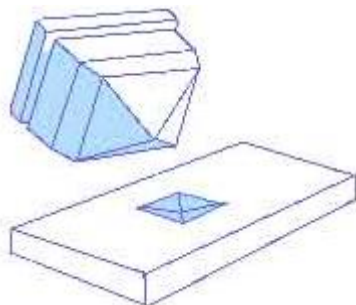
Wartość twardości zależy od zdefiniowanej procedury pomiarowej. Nie można jej zdefiniować w kategoriach podstawowych jednostek masy, długości i czasu. Najczęściej stosowaną metodą jest test twardości Vickersa.

2.6.3. Metoda Vickersa

Test twardości Vickersa jest standardową metodą pomiaru twardości metali, szczególnie tych o wyjątkowo twardych powierzchniach. Stosowany wgłębnik to kwadratowa piramida, której przeciwległe boki stykają się w wierzchołku pod kątem 136° (rysunek 75a). Diament jest wciskany w

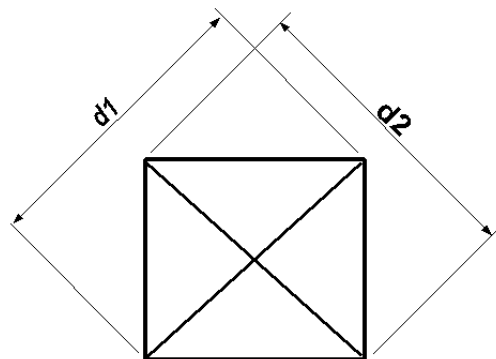
powierzchnię materiału pod obciążeniem. Po upływie czasu zagłębiania (10 do 15 sekund) obciążenie jest usuwane.

Dwie przekątne wgłębenia pozostawionego na powierzchni materiału po usunięciu obciążenia (rys. 75b) są mierzone pod skalibrowanym mikroskopem ze względu na mały rozmiar wgłębenia (zwykle od 0,020 mm do 1,400 mm) i obliczana jest ich średnia.



Rysunek 75a - Test twardości Vickersa

(<http://www.hardnesstesters.com/hardness-method-2.htm>).



Rysunek 75b - wgniecenie szczytkowe na powierzchni.

Liczba Vickersa (HV) jest obliczana według następującego wzoru:

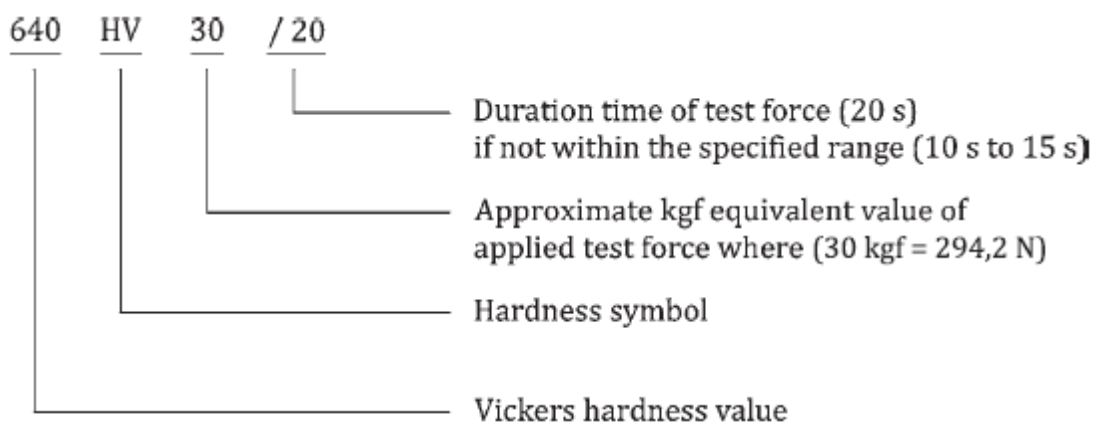
$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

$$HV = 1.854 \cdot \frac{F}{d^2}$$

Gdzie F to przyłożone obciążenie (mierzone w kilogramach-siła), d = średnia arytmetyczna dwóch przekątnych, $d1$ i $d2$ w mm, a d^2 to powierzchnia wgłębenia (mierzona w milimetrach kwadratowych).

Po określeniu średniej przekątnej wgłębenia twardość Vickersa można obliczyć ze wzoru, ale możemy również użyć tabel konwersji twardości.

Twardość Vickersa, HV, jest oznaczana jak pokazano w poniższym przykładzie.



Inne różne ustawienia obciążenia (1, 2, 5, 10, 30, 50 i 100 kgf) dają praktycznie identyczne wartości twardości na jednorodnym materiale, co jest znacznie łatwiejsze niż w przypadku arbitralnej zmiany

skali, jak w przypadku innych metod badania twardości. Zaletą testu twardości Vickersa jest to, że można wykonać niezwykle dokładne odczyty, a tylko jeden rodzaj wgłębnika jest używany do wszystkich rodzajów metali i obróbki powierzchni.

Wymagana rozdzielczość systemu pomiaru przekątnej zależy od wielkości najmniejszego mierzonego wgłębienia i powinna być zgodna z tabelą 15. Przy określaniu rozdzielczości systemu pomiarowego należy wziąć pod uwagę rozdzielczość optyki mikroskopu, rozdzielczość cyfrową skali pomiarowej i wielkość kroku dowolnego ruchu stolika, jeśli ma to zastosowanie.

Długość przekątnej, d mm	Rozdzielczość systemu pomiarowego
$0,020 \leq d < 0,080$	0,000 4 mm
$0,080 \leq d \leq 1,400$	0,5 % d

Tabela 14 - Rozdzielczość systemu pomiarowego.

Konwersja twardości pomiędzy różnymi metodami i skalami nie może być matematycznie dokładna dla szerokiej gamy materiałów. Różne obciążenia, różne kształty wgłębników, jednorodność próbki, właściwości obróbki na zimno i właściwości sprężyste komplikują problem. Wszystkie tabele i wykresy powinny być traktowane jako przybliżone odpowiedniki, szczególnie w przypadku konwersji na metodę lub skalę, która nie jest fizycznie możliwa dla danego materiału testowego, a zatem nie może być zweryfikowana. Przykładem może być przeliczenie wartości HV 10 na cienkiej powłoce na odpowiednik HRC.

Linki do tabel i wykresów konwersji twardości znajdują się poniżej:

[Tabela konwersji twardości](#)

[Tabela przeliczeniowa twardości](#)

[Wykres równoważników twardości Brinella, Vickersa i wytrzymałości na rozciąganie \(1\)](#)

[Wykres konwersji twardości związany ze skalą twardości Rockwella C \(twarde materiały\)](#)

[Szacunkowy wykres ekwiwalentu twardości związany ze skalami twardości Rockwella C i Vickersa \(twarde materiały\)](#)

[Kalkulator konwersji HV, MPa i GPa](#)

Przed przystąpieniem do badania twardości metodą Vickersa należy sprawdzić, czy maszyna jest prawidłowo ustawiona zgodnie z instrukcjami producenta.

W szczególności należy to sprawdzić:

- tłok przytrzymujący wgłębnik może przesuwać się w prowadnicy bez tarcia lub nadmiernego luzu bocznego;
- uchwyt wgłębnika jest mocno osadzony w tłoku;
- siła testowa może być przykładana i usuwana bez wstrząsów, wibracji lub przeregulowania oraz w taki sposób, że nie ma to wpływu na odczyty;

- d) ukośny system pomiarowy:
- 1) jeśli jest zintegrowany z urządzeniem, zmiana z trybu usuwania siły testowej na tryb pomiaru nie ma wpływu na odczyty;
 - 2) urządzenie oświetlające mikroskopu pomiarowego zapewnia równomierne oświetlenie całego obserwowanego pola z wystarczającym kontrastem między wgłębieniem a otaczającą powierzchnią, aby wyraźnie określić granicę;
 - 3) środek wcięcia znajduje się w środku pola widzenia, jeśli to konieczne.

Bezpośrednia weryfikacja maszyny do badania twardości Vickersa obejmuje:

- a) kalibracja siły testowej;
- b) weryfikacja wgłębniaka;
- c) kalibracja i weryfikacja diagonalnego systemu pomiarowego;
- d) weryfikacja cyklu testowego.

Bezpośrednia weryfikacja powinna być przeprowadzona w temperaturze $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Jeśli weryfikacja zostanie przeprowadzona poza tym zakresem temperatur, należy to zaznaczyć w raporcie z weryfikacji.

Przyrządy używane do weryfikacji i kalibracji muszą być zgodne z normami krajowymi.

Należy zmierzyć każdą siłę użytą w zakresie roboczym maszyny wytrzymałościowej. W każdym przypadku, gdy położenie wgłębniaka ma wpływ na przyłożoną siłę, należy to zrobić w co najmniej trzech pozycjach tłoka równomiernie rozmieszczonych w całym zakresie jego ruchu podczas badania. W przypadku maszyn testujących, na których siłę testową nie ma wpływu położenie tłoka, np. system obciążenia sterowany w pętli zamkniętej, siłę testową można skalibrować w jednej pozycji.

Należy wykonać trzy odczyty dla każdej siły testowej, F , w każdym położeniu tłoka. Bezpośrednio przed wykonaniem każdego odczytu wgłębniak należy przesunąć w tym samym kierunku, co podczas badania.

Maszyna testująca powinna zostać zweryfikowana poprzez testowanie bloków referencyjnych, które zostały skalibrowane zgodnie z normą ISO 6507-3. Bloki powinny być skalibrowane przy użyciu tych samych sił testowych, których maszyna będzie używać do przyszłych testów. Podczas weryfikacji więcej niż jednej siły testowej, należy wybrać co najmniej dwa bloki referencyjne z zakresów twardości określonych poniżej dla każdej siły testowej, którą maszyna będzie weryfikować. Zestaw bloków potrzebnych do weryfikacji maszyny dla wszystkich sił testowych powinien być tak dobrany, aby co najmniej jeden blok referencyjny z każdego zakresu twardości był używany do weryfikacji. Podczas weryfikacji maszyn testujących przy użyciu tylko jednej siły testowej należy użyć trzech bloków referencyjnych, po jednym z każdego z trzech zakresów twardości określonych poniżej.

Zakresy twardości powinny być wybrane, jeśli to możliwe, w celu odtworzenia poziomów twardości najczęściej testowanych przy użyciu określonych sił testowych.

-<250 HV

-400 HV do 600 HV

->700 HV

Na każdym bloku referencyjnym należy wykonać i zmierzyć pięć wgłębnień. Test należy przeprowadzić zgodnie z normą ISO 6507-1. Do testów należy używać wyłącznie skalibrowanych powierzchni bloków testowych.

Weryfikacje bezpośrednie należy przeprowadzać zgodnie z harmonogramem podanym w tabeli 16. Zaleca się przeprowadzanie bezpośrednich weryfikacji co 12 miesięcy.

Weryfikację pośrednią przeprowadza się co najmniej raz na 12 miesięcy i po przeprowadzeniu weryfikacji bezpośredniej.

Wymagania dotyczące weryfikacji	Siła	Pomiar przekątnej system	Cykl testowy	Indentera
Przed pierwszym uruchomieniem	x	x	x	x
Po demontażu i ponownym montażu, jeśli ma to wpływ na siłę, system pomiaru przekątnej lub cykl testowy.	x	x	x	
Niepowodzenie weryfikacji pośredniej ^b	x	x	x	
Weryfikacja pośrednia > 13 miesięcy temu	x	x	x	

Ponadto zaleca się bezpośrednią weryfikację wgłębnika po 2 latach użytkowania.

Bezpośrednia weryfikacja tych parametrów może być przeprowadzana sekwencyjnie (dopóki maszyna nie przejdzie weryfikacji pośredniej) i nie jest wymagana, jeśli można wykazać, na przykład za pomocą testów z wgłębnikiem referencyjnym, że wgłębnik był przyczyną awarii.

Tabela 15 - Bezpośrednie weryfikacje maszyn do badania twardości.

Analiza niepewności pomiaru jest użytecznym narzędziem pomagającym określić źródła błędów i zrozumieć różnice między zmierzonymi wartościami. Niniejszy załącznik zawiera wytyczne dotyczące szacowania niepewności, ale uzyskane wartości mają jedynie charakter informacyjny, chyba że klient wyraźnie zaleci inaczej. Kryteria określone w niniejszym dokumencie dotyczące wydajności maszyny wytrzymałościowej zostały opracowane i udoskonalone w znacznym okresie czasu.

Przy określaniu konkretnej tolerancji, którą maszyna musi spełnić, niepewność związana z użyciem sprzętu pomiarowego i/lub norm odniesienia została uwzględniona w tej tolerancji, a zatem niewłaściwe byłoby dalsze uwzględnianie tej niepewności, na przykład poprzez zmniejszenie tolerancji o niepewność pomiaru.

Dotyczy to wszystkich pomiarów wykonywanych podczas bezpośredniej lub pośredniej weryfikacji urządzenia. W każdym przypadku jest to po prostu zmierzona wartość wynikająca z użycia określonego sprzętu pomiarowego i/lub norm odniesienia, która jest wykorzystywana do oceny, czy maszyna jest zgodna z niniejszym dokumentem. Mogą jednak wystąpić szczególne okoliczności, w których zmniejszenie tolerancji o niepewność pomiaru jest właściwe.

2.6.4. Powołane normy

- ISO 6507-1: Materiały metalowe - Próba twardości Vickersa - Część 1: Metoda badania
- ISO 6507-2: Materiały metalowe - Próba twardości Vickersa - Część 2: Weryfikacja i kalibracja maszyn wytrzymałościowych
- ISO 6507-3: Materiały metalowe - Próba twardości Vickersa - Część 3: Kalibracja bloków odniesienia

- ISO 6507-4: Materiały metalowe - Próba twardości Vickersa - Część 4: Tabele wartości twardości
- ISO 4516: Powłoki metaliczne i inne powłoki nieorganiczne - Badania mikrotwardości Vickersa i Knoop
- EN ISO 14271: Zgrzewanie oporowe - Badanie twardości Vickersa (niska siła i mikrotwardość) zgrzewów oporowych punktowych, garbowych i szwów
- ISO 22826: Badania niszczące spoin materiałów metalicznych - Badania twardości wąskich złączy spawanych laserem i wiązką elektronów (badania twardości Vickersa i Knoop)
- EN ISO 4498: Spiekane materiały metalowe, z wyłączeniem twardych metali - Oznaczanie twardości pozornej i mikrotwardości
- ISO 18265: Materiały metalowe - Konwersja wartości twardości
- EN ISO 14577-1: Materiały metalowe - Oprzyrządowane badanie wgłębne twardości i parametrów materiałowych - Część 1: Metoda badania
- EN ISO 14577-2: Materiały metalowe - Oprzyrządowane badanie wgłębne twardości i parametrów materiałowych - Część 2: Weryfikacja i kalibracja maszyn wytrzymałościowych
- EN ISO 15614-1: Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania materiałów metalowych. Badanie technologii spawania. Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu

2.7. Ćwiczenia do wykorzystania w w trakcie zajęć

Poniższe ćwiczenia teoretyczne i praktyczne powinny zostać wykonane przez uczestników po zakończeniu sesji szkolenia teoretycznego z **ROZDZIAŁU 2**, aby ocenić ich postępy w zdobywaniu wiedzy.

2.7.1. Próby rozciągania metali w temperaturze pokojowej - Ćwiczenia

2.7.1.1. Ćwiczenie 1

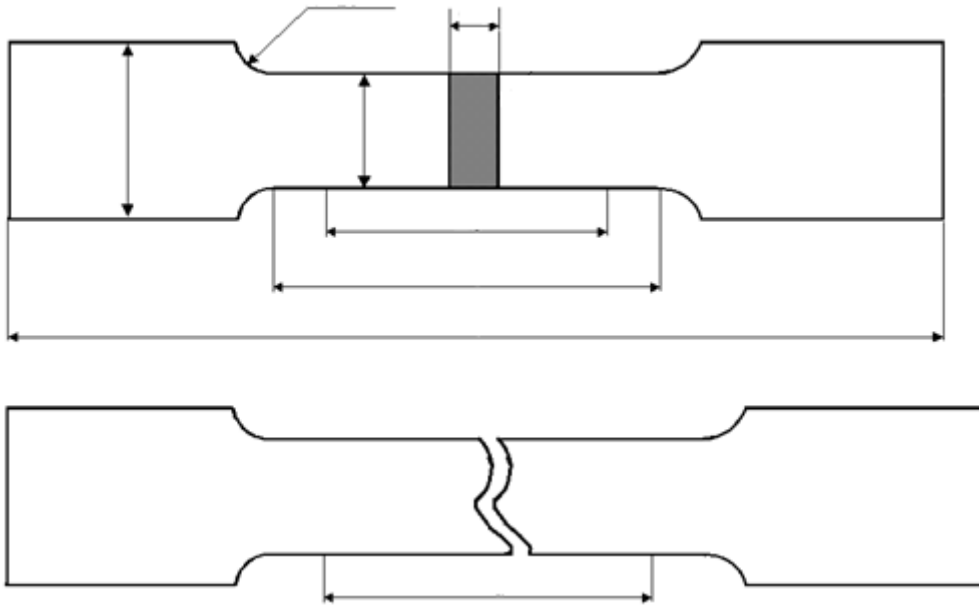
Odpowiedz na poniższe pytania, aby ocenić swoje zrozumienie pojęć. Udzielaj krótkich i zwięzłych odpowiedzi.

1. Jaki jest cel prób rozciągania?
2. Jakie są kluczowe elementy typowej maszyny do prób rozciągania?
3. Wyjaśnij różnicę między naprężeniem inżynierskim a naprężeniem rzeczywistym.
4. Zdefiniuj pojęcia odkształcenia sprężystego, odkształcenia plastycznego i pęknięcia w kontekście próby rozciągania.
5. Co to jest granica plastyczności materiału i jak się ją określa?
6. Czym różni się wytrzymałość na rozciąganie (UTS) od granicy plastyczności?
7. Opisać koncepcję utwardzania odkształceniowego (utwardzania podczas pracy) i jego wpływ na właściwości materiału przy rozciąganiu.
8. Jakie jest znaczenie pomiarów wydłużenia i zmniejszenia powierzchni w próbie rozciągania?
9. Jak temperatura wpływa na właściwości mechaniczne materiału podczas próby rozciągania?

2.7.1.2. Ćwiczenie 2 | Demonstracja

Uzupełnij brakujące symbole na rysunku z poniższej listy i wyjaśnij ich znaczenie.

- a_0 -
- b_0 -
- b_1 -
- L_c -
- L_0 -
- L_t -
- L_u -
- R -



2.7.2. Próby rozciągania złączy spawanych ze spoinami czołowymi, krzyżowymi, zakładkowymi i pachwinowymi Ćwiczenia

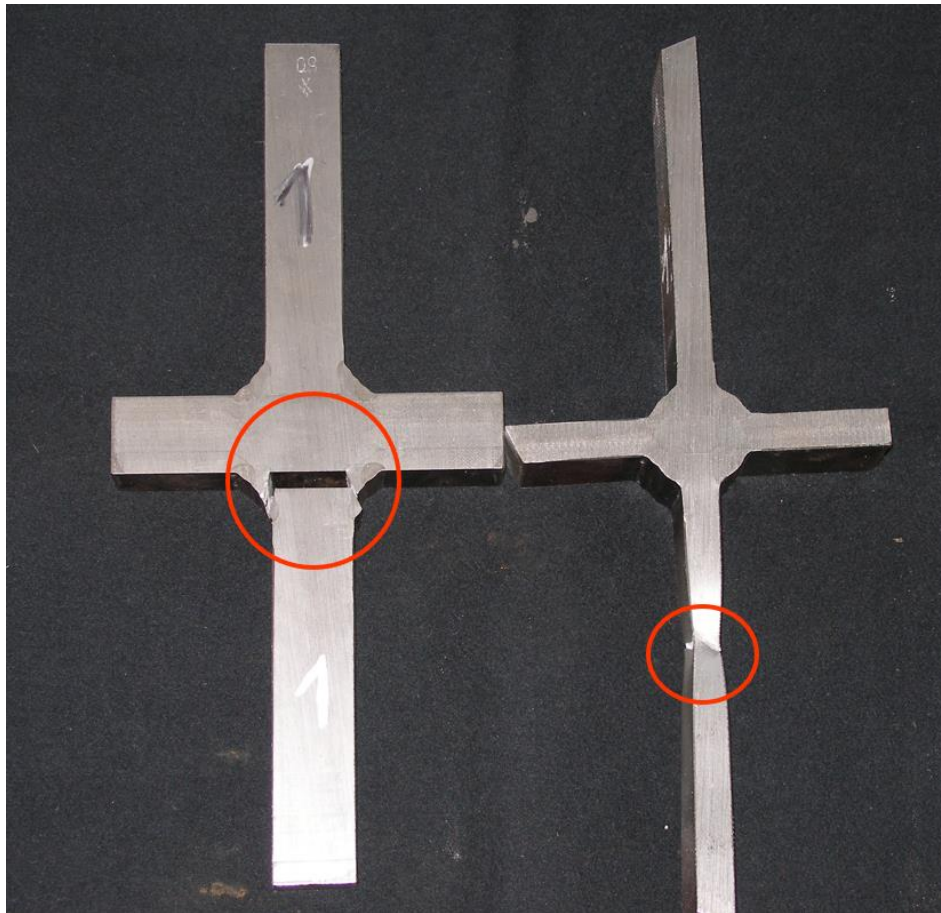
2.7.2.1. Ćwiczenie 1

Odpowiedz na poniższe pytania, aby ocenić swoje zrozumienie pojęć. Udzielaj krótkich i zwięzłych odpowiedzi.

1. Opisać wymagania dotyczące wyboru próbki do badań ze złącza spawanego, w tym jej lokalizacji i procesu obróbki.
2. Wyjaśnij wymiary i warunki powierzchniowe, które powinna spełniać próbka testowa.
3. Omówienie sytuacji, w których może być wymagane pobranie wielu próbek do badań w celu pokrycia pełnej grubości złącza i związanych z tym rozważań dotyczących grubości.
4. Wyjaśnij proces przyłożenia obciążenia i kryteria pęknięcia próbki podczas próby rozciągania.
5. Opisać znaczenie badania pękniętych powierzchni próbki testowej i rejestrowania wszelkich niedoskonałości, które mogły mieć wpływ na wyniki testu.
6. Wymień informacje, które powinny znaleźć się w raporcie z testu.

2.7.2.2. Ćwiczenie 2 | Demonstracja

Wskaż, która metoda zniszczenia próbki w próbie rozciągania złącza krzyżowego jest prawidłowa.



2.7.3. Test zginania metali i połączeń spawanych Ćwiczenia

2.7.3.1. Ćwiczenie 1

Określ sposób postępowania w przypadku uszkodzenia próbki podczas próby zginania, wybierz jedną z poniższych opcji i wyjaśnij swoją odpowiedź:

- A. odrzucić próbkę i poprosić o nową do warsztatu
- B. zadzwonić do klienta, aby poinformować, że kupon spawalniczy nie jest akceptowalny
- C. zmierzyć głębokość pęknięcia i obliczyć efektywny przekrój, aby uzyskać rzeczywiste naprężenie zginające na pękniętych próbkach.
- D. po zmierzeniu wady na powierzchni rozciągania wykrywa się, że jej długość jest mniejsza niż 3 mm, dlatego dalej zgina się próbkę, aby zwiększyć tę długość do wartości większej niż 3 mm, potwierdzając w ten sposób niedopuszczalny wynik (uszkodzenie próbki)
- E. mierzy się tylko kąt, przy którym nastąpiło pęknięcie próbki (w przypadku, gdy próbka została pęknięta, nie było możliwe kontynuowanie testu).
- F. mierzy się wydłużenie, przy którym nastąpiło pęknięcie próbki (w przypadku, gdy próbka została pęknięta, a zatem nie było możliwe kontynuowanie testu)

- G. W przypadku oceny, że próbka uległa uszkodzeniu, w raporcie z testu należy podać maksymalny kąt osiągnięty przez próbkę podczas próby zginania, a w uwagach należy podać długość wykrytego pęknięcia lub wady.
- H. jeśli podczas testu zginania zauważysz porównanie wady, natychmiast przerwij test, aby zmierzyć długość wady i ustalić, czy jest ona akceptowalna, czy nie
- I. Jeśli podczas testu zginania zauważysz porównanie wady, będziesz kontynuować test do końca, ale z mniejszą prędkością niż na początku.
- J. jeśli podczas testu zginania zauważysz porównanie wady, kontynuujesz test do końca, a następnie nie przeprowadzasz testów na pozostałych próbkach tej samej próbki, ponieważ nie jest to konieczne
- K. Jeśli podczas testu zauważysz porównanie wady na powierzchni rozciągającej próbki, natychmiast przerwiesz test i powtórzysz go na tej samej próbce, ale zginając ją w odwrotny sposób, dzięki czemu przeciwna powierzchnia, na której porównywana jest wada, jest teraz powierzchnią rozciągającą.

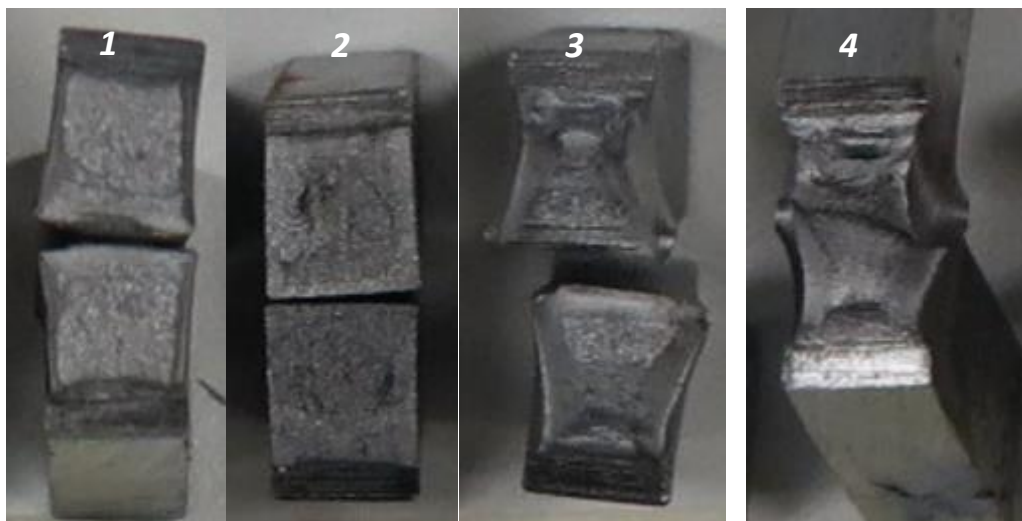
2.7.3.2. Ćwiczenie 2 | Demonstracja

- A. Oblicz wydłużenie otrzymanej próbki; weź pod uwagę początkową szerokość spoiny wynoszącą 15 mm.
- B. zmierzyc rozmiar otrzymanej próbki i określić, czy jest ona zgodna z normą ISO 5173 i może być testowana zgodnie z tą samą standardową metodą testową
- C. zmierzyc kąt, pod jakim otrzymana próbka została wygięta

2.7.4. Próba udarności Charpy'ego metali i połączeń spawanych Ćwiczenia

2.7.4.1. Ćwiczenie 1

Uporządkuj poniższe zdjęcia badanych próbek Charpy'ego z karbem V od badanych w niższej temperaturze do badanych w wyższej temperaturze, podaj numery referencyjne we właściwej kolejności. Następnie uporządkuj próbki od tej o największej rozszerzalności poprzecznej do tej o najmniejszej.



Na koniec należy spróbować oszacować zakres obszaru ścinania przy zerwaniu każdej próbki z błędem 5% (np. próbka X związana z obszarem ścinania w zakresie 10÷20%).

2.7.4.2. Ćwiczenie 2 | Demonstracja

- A. zmierzyć rozszerzalność boczną otrzymanej złamanej próbki
- B. zweryfikować wymiary otrzymanej próbki i potwierdzić, czy tolerancje określone w normie ISO 148-1 są spełnione

2.7.5. Testy na pęknięcie połączeń spawanych Ćwiczenia

2.7.5.1. Ćwiczenie 1

Opisz, gdzie umieściłbyś wycięcie na tego typu próbce:

- Spaw doczołowy ze stali węglowej, grubość 20 mm
- Spaw doczołowy ze stali nierdzewnej, grubość 25 mm

i określić, czy chłodzenie próbki przed pęknięciem jest sugerowane w celu ograniczenia odkształceń plastycznych, dlatego wybierz jedną z poniższych opcji i wyjaśnij swoją odpowiedź:

- sugerowane jest chłodzenie obu próbek (stal węglowa i stal nierdzewna)
- Chłodzenie jest zalecane tylko w przypadku stali węglowej
- Chłodzenie jest zalecane tylko w przypadku stali nierdzewnej

2.7.5.2. Ćwiczenie 2 | Demonstracja

- A. zidentyfikować i zmierzyć niedoskonałości otrzymanych próbek
- B. zidentyfikować rodzaj nacięcia i obliczyć obszar badania na otrzymanej próbce

2.7.6. Testy twardości połączeń spawanych Ćwiczenia

2.7.6.1. Ćwiczenie 1

Jakie kroki należy wykonać przed pomiarem twardości Vickersa materiału?

1. Umieścić próbkę na platformie.

2. Przesuń próbkę na miejsce.
3. Przewiń, aby ustawić ostrość.
4. Wybierz metodę testową i obciążenie.
5. Wybierz cel i nazwę zadania.
6. Użyj kamery pogłądowej, aby ustawić węgłownik.
7. Rozpocznij test węgłownika.

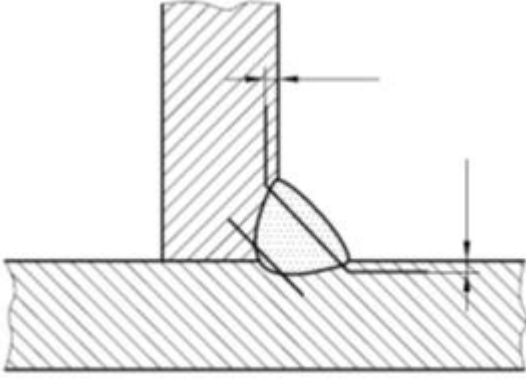
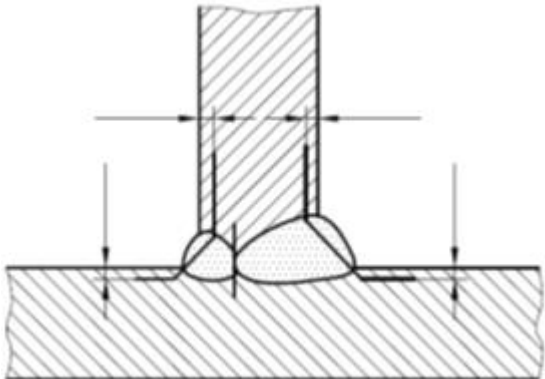
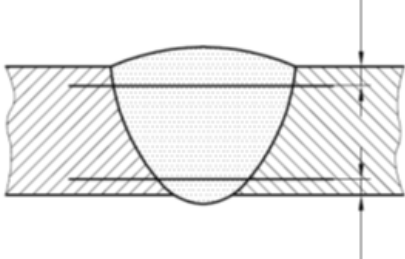
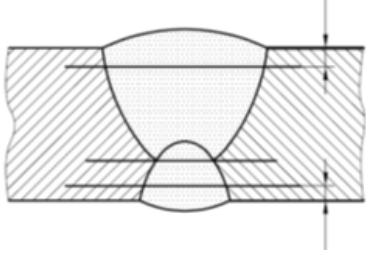
2.7.6.2. Ćwiczenie 2

Jaki stan powierzchni jest niezbędny do przeprowadzenia testu twardości Vickersa?

Wymagany stan powierzchni do testu twardości Vickersa zależy od zastosowanego obciążenia. W przypadku badania twardości w skali makro, stosowane obciążenia muszą być wyższe niż 1 kgf (HV1), a powierzchnia powinna być szlifowana. Zazwyczaj stosuje się obciążenie HV10.

2.7.6.3. Ćwiczenie 3 | Demonstracja

Aby zakwalifikować procedurę spawania (wszystkie pozycje spawania), należy zaznaczyć odległość i liczbę punktów pomiarowych, w których należy zmierzyć twardość próbki:

	
<p style="text-align: center;">Spoina pachwinowa</p>	<p style="text-align: center;">Spawanie w kształcie litery T</p>
	
<p style="text-align: center;">Spoina czołowa tylko z jednej strony, obie pojedyncze i wielościgowe</p>	<p style="text-align: center;">Spawanie doczołowe z obu stron, zarówno pojedyncze, jak i wielokrotne</p>

3. Niepewność pomiaru

3.1. Ogólne metody obliczania niepewności

Żaden pomiar nie jest dokładny. Gdy wartość jest mierzona, wynik zależy od systemu pomiarowego, procedury pomiarowej, umiejętności operatora, środowiska i innych czynników.

Nawet jeśli dana wielkość zostanie zmierzona kilka razy, w ten sam sposób i w tych samych okolicznościach, za każdym razem uzyskana zostanie inna wartość pomiarowa, zakładając, że system pomiarowy ma wystarczającą rozdzielczość, aby rozróżnić wartości.

Dyspersja zmierzonych wartości odnosiłaby się do tego, jak dobrze wykonywany jest pomiar. Ich średnia zapewniałaby oszacowanie prawdziwej wartości wielkości, która generalnie byłaby bardziej wiarygodna niż pojedyncza zmierzona wartość. Rozproszenie i liczba zmierzonych wartości dostarczyłyby informacji odnoszących się do wartości średniej jako oszacowania wartości rzeczywistej. Informacje te nie byłyby jednak na ogół wystarczające.

W metrologii **niepewność pomiaru jest wyrażeniem** statystycznego rozproszenia wartości przypisywanych mierzonej wielkości. Wszystkie pomiary są obarczone niepewnością, a wynik pomiaru jest kompletny tylko wtedy, gdy towarzyszy mu określenie związanej z nim niepewności, takiej jak odchylenie standardowe. Zgodnie z międzynarodową umową, niepewność ta ma charakter probabilistyczny i odzwierciedla niepełną wiedzę na temat wartości wielkości.

Niepewność pomiaru jest często traktowana jako odchylenie standardowe rozkładu prawdopodobieństwa stanu wiedzy w odniesieniu do możliwych wartości, które można przypisać mierzonej wielkości. Niepewność względna to niepewność pomiaru w odniesieniu do wielkości konkretnego pojedynczego wyboru wartości mierzonej wielkości, gdy wybór ten jest niezerowy. Ten konkretny pojedynczy wybór jest zwykle nazywany wartością mierzoną, która może być optymalna w pewnym dobrze zdefiniowanym sensie (np. wartość średnia). Tak więc, względna niepewność pomiaru jest niepewnością pomiaru podzieloną przez wartość bezwzględną zmierzonej wartości, gdy zmierzona wartość nie jest równa zero.

Niepewność ta powinna być podawana jako wartość jawna \pm lub jako niepewność domniemana przy użyciu odpowiedniej liczby cyfr znaczących.

Niepewność pomiaru wynosi:

- parametr związany z wynikiem pomiaru, który charakteryzuje rozproszenie prawdziwych wartości, które można racjonalnie przypisać wielkości mierzonej [1].
- wątpliwości, które istnieją w odniesieniu do wyniku jakiegokolwiek pomiaru [2].

- wyrażenie statystycznego rozproszenia wartości przypisanych mierzonej wielkości [3].
- pełna ocena niepewności powinna być przeprowadzona zgodnie z JCGM 100:2008 [2].
- Niezależnie od rodzaju źródeł, w przypadku twardości istnieją dwie możliwości określenia niepewności.
- Jedna z możliwości opiera się na ocenie wszystkich istotnych źródeł pojawiających się podczas bezpośredniej kalibracji. Jako odniesienie dostępne są wytyczne Euramet [3];
- Druga możliwość opiera się na pośredniej kalibracji przy użyciu bloku referencyjnego twardości (CRM - certyfikowany materiał referencyjny) [3, 4].

3.1.1. Błąd a niepewność

Ważne jest, aby nie mylić terminów "błąd" i "niepewność".

Błąd to różnica między wartością zmierzoną a "prawdziwą wartością" mierzonego obiektu.

Niepewność jest kwantyfikacją wątpliwości co do wyniku pomiaru.

W miarę możliwości podejmowane są próby dopasowania wszelkich znanych błędów: na przykład poprzez zastosowanie korekt ze świadectw wzorcowania. Jednak każdy błąd, którego wartość nie jest znana, stanowi źródło niepewności.

3.1.2. Niepewność i rodzaje niepewności

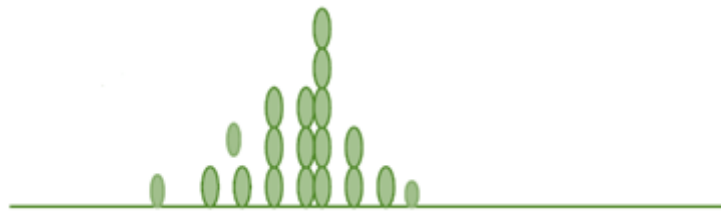
Podejście przewodnika ISO do obliczeń UM:

- Specyfikacja miernika:
 - w tym pełne równanie
- Kwantyfikacja znaczących niepewności we wszystkich parametrach:
 - A: ze statystyk powtórzonego eksperymentu;
 - B: w jakikolwiek inny sposób (teoria, certyfikaty, osąd...).
- Wyrażone jako odchylenie standardowe;
- Łączenie zgodnie z określonymi zasadami.

3.1.3. Odchylenie standardowe

Jest pierwiastkiem kwadratowym z Variant $V = S^2$

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$



Rysunek 76 - Histogram odchylenia standardowego.

3.1.4. Standardowa niepewność

Jest to niepewność wyniku pomiaru wyrażona jako odchylenie standardowe. Niepewność standardowa jest definiowana jako jedno odchylenie standardowe.

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Wszystkie niepewności składowe powinny być wyrażone na tym samym poziomie ufności, konwertując je na niepewności standardowe. Niepewność standardowa to margines, którego wielkość można uznać za "plus lub minus jedno odchylenie standardowe". Niepewność standardowa mówi nam o niepewności średniej (nie tylko o rozrzucie wartości). Niepewność standardowa jest zwykle oznaczana symbolem u lub $u(y)$ (niepewność standardowa w y).

3.1.5. Wpisz ocenę niepewności

Jest to niepewność oceniana na podstawie analizy statystycznej serii obserwacji.

Z powtórzonych wyników: Rozkład równomierny = Rozkład normalny i niepewność standardowa.

Rozkład normalny: Rozkład normalny jest używany do szacowania na podstawie powtarzających się obserwacji procesu, który zmienia się losowo.

Niepewność jest następnie podawana jako odchylenie standardowe.

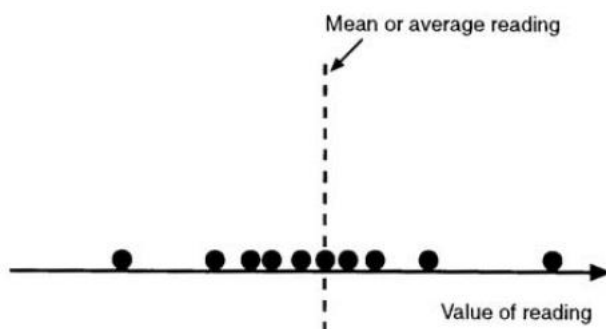
Odchylenie standardowe średniej (średnia s/x): Względne odchylenie standardowe (RSD) lub współczynnik zmienności %.

Niepewność dla zmiennej z 95% przedziałem ufności (lub innym) jest podawana jako:

- $u(x) = k/2$ (dla 95% prawdopodobieństwa);
- $u(x) = k/3$ (dla 99,7% prawdopodobieństwa).

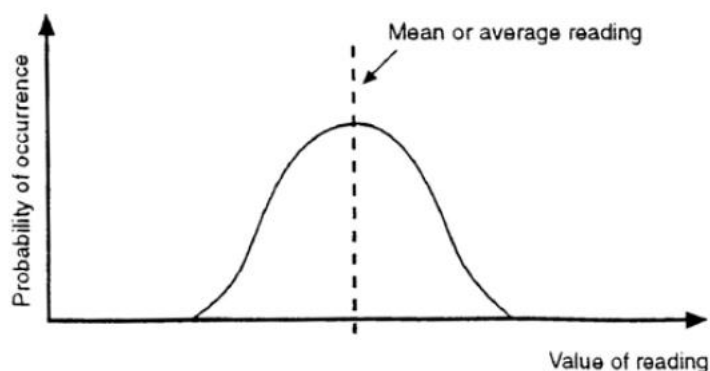
Rozkład normalny: W zbiorze odczytów wartości czasami częściej znajdują się blisko średniej niż dalej. Jest to typowe dla rozkładu normalnego (gaussowskiego). Ten typ rozkładu wyróżnia się, jeśli zbiór osób jest obliczany na podstawie dużej grupy osób. Większość ludzi ma wzrost zbliżony do średniego; niewielu jest wyjątkowo wysokich lub niskich.

Rysunek 77 przedstawia zestaw 10 "losowych" wartości w przybliżonym rozkładzie normalnym.



Rysunek 77 - "Blob plot" zestawu wartości leżących w rozkładzie normalnym.

Szkic rozkładu normalnego przedstawiono na rysunku 78.



Rysunek 78 - Szkic rozkładu "normalnego".

Po wykonaniu zestawu wielu powtarzających się odczytów (dla oszacowania niepewności typu A), średnia \bar{x} i szacowane odchylenie standardowe s mogą być obliczone dla zestawu. Na tej podstawie obliczana jest szacunkowa niepewność standardowa u średniej:

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Gdzie:

- n - liczba pomiarów w zestawie. (Niepewność standardowa średniej jest również nazywana odchyleniem standardowym średniej lub błędem standardowym średniej).

3.1.6. Ocena niepewności typu B

Czy niepewność jest oceniana za pomocą środków innych niż analiza statystyczna serii obserwacji?

Z certyfikatów i literatury:

- Prostokątny: Dzielnik: $\sqrt{3}$
- Trójkąt: Dzielnik: $\sqrt{6}$

Tam, gdzie informacje są rzadsze (w niektórych szacunkach typu B), można oszacować tylko górną i dolną granicę niepewności. Może być wtedy konieczne oszacowanie, że wartość jest równie

prawdopodobna w dowolnym miejscu pomiędzy, tj. w rozkładzie prostokątnym lub równomiernym. Niepewność standardowa dla rozkładu **prostokątnego** jest obliczana przez:

$$\frac{a}{\sqrt{3}}$$

Gdzie:

- a - połowa zakresu (lub połowa szerokości) między górnym i dolnym limitem.

Rozkłady prostokątne występują dość często, ale mogą również wystąpić sytuacje, w których konieczne jest użycie wzoru obliczeniowego.

Rozkład prostokątny jest używany, gdy informacje są pobierane z certyfikatu lub specyfikacji, co daje powiązaną niepewność bez określania poziomu ufności.

Przykład: Czystość kadmu jest podawana jako:

$$= 99.99 \pm 0.1\%.$$

Są to przypadki rozkładu prostokątnego (równomiernego). W tej metodzie rozkłady są takie, że prawdopodobieństwo poszczególnych jednostek (czystość) jest bliższe wartościom skrajnym. Dlatego oszacowanie jest dokonywane poprzez zastosowanie rozkładu prostokątnego. Tak więc:

$$\text{Zakładana niepewność standardowa} = \text{połowa szerokości} / \text{Sq. } \sqrt{3}$$

3.1.6.1. łączna niepewność

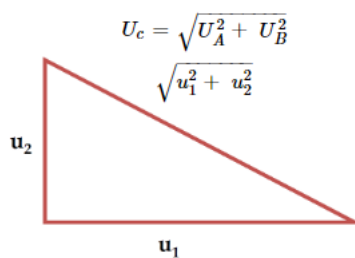
Niepewności składowe są łączone w celu uzyskania ogólnej niepewności.

Poszczególne niepewności standardowe obliczone za pomocą obliczeń typu A lub typu B mogą być łączone za pomocą "sumowania kwadratów" (znanego również jako "pierwiastkowa suma kwadratów"). Wynik nazywany jest połączoną niepewnością standardową, oznaczaną przez u_c lub $u_c(y)$.

Sumowanie kwadraturowe jest najprostsze, gdy wynik pomiaru uzyskuje się przez dodawanie lub odejmowanie. Poniżej omówiono bardziej skomplikowane przypadki mnożenia i dzielenia pomiarów, a także inne funkcje.

- Niepewności składowe są łączone w celu uzyskania ogólnej niepewności;
- Niektóre niepewności mogą się wzajemnie znosić;
- Niektóre z nich mogą być współzależne;
- Czynniki niepewności typu A i typu B;

- Łącząc wszystkie czynniki, należy je przeliczyć na podobną jednostkę miary (np. %; gm; ml;° C; o jedną jednostkę mniej).



Rysunek 79 - Łączenie niepewności.

3.1.7. Rozszerzona niepewność

W niektórych przypadkach połączona niepewność standardowa musi zostać pomnożona przez odpowiedni współczynnik pokrycia.

$$U_E = k \cdot U_c$$

gdzie:

- k - zwykle 1,96 lub 2,00 dla poziomu ufności 95%.

3.2. Niepewność pomiaru dla próby rozciągania, próby uderności i próby twardości

3.3. Ćwiczenia do wykorzystania na zajęciach

Zgodnie z normą EN ISO/CEI 17025/2017 wszystkie laboratoria badawcze muszą posiadać i stosować procedurę szacowania niepewności. Oszacowanie niepewności i zadeklarowanie jej wartości w raporcie z analizy jest konieczne, gdy niepewność może mieć negatywny wpływ na zgodność ze specyfikacją.

W następujących dwóch ćwiczeniach będziesz w stanie zrozumieć więcej dzięki dwóm praktycznym przykładom związanym z pomiarem niepewności w przypadku prób rozciągania i uderności.

3.3.1. Ćwiczenie 1 - Obliczanie niepewności pomiaru w badaniach twardości

Values measured on master sample HV10

Measurement 1	188
Measurement 2	188
Measurement 3	190
Measurement 4	193
Measurement 5	192

u_{eZr} – taken from ISO 6507-2 (table 5)

$$u_{eZr} = 0.0288$$

X_{CRM} – average hardness value per standard (from the calibration certificate)

$$X_{CRM} = 192$$

u_e – incertitudinea standard conform abaterii maxime admise (%)

$$u_e = 1.97485714 \%$$

u_{CRM} – calibration uncertainty (from calibration certificate)

$$u_{CRM} = 1 \%$$

u_H – uncertainty of the hardness equipment (from the calibration certificate)

$$u_H = 0.5 \%$$

$$x = 190.2$$

S_x	2.28035085	2.280351
	0.25	5.2
	4.84	
	4.84	
	0.04	
	7.84	
	3.24	

u_x – uncertainty of easurement marks

$$t = 1,14 \quad pt \quad n = 5 \quad (n - \text{number of measurements}) \quad n = 5$$

$$t = 1.14$$

$$u_x = 1.162576$$

$$H = 190.2$$

$$d = 0.221 \text{ mm}$$

$$\delta m = 0.0001 \text{ mm}$$

u_{mas} – standard uncertainty

$$u_{mas} = 0.049689$$

u_{corr} – revised and extnded uncertainty measurement

K – coverage factor (k=2)

$$k = 2$$

$$u_{corr} = 5.100633 \text{ HV}$$

$$\text{unertainty } c = 2.681721 \%$$

3.3.2. Ćwiczenie 2 - Obliczanie niepewności pomiaru w testach Charpy'ego

Breaking energy					
Size	Standard uncertainty	Distribution law	Sensitivity coefficient	Partial uncertainty	Obs.
a [mm]	0.1	rectangular	1	0.1	electronic comparator
b [mm]	0.1	rectangular	1	0.1	micrometer
h [mm]	0.1	rectangular	1	0.1	micrometer
r [mm]	1	rectangular	1	1	microscope
l [mm]	1	rectangular	1	1	subler
KV, KU [J]	0.5	rectangular	1	0.5	pendulum hammer
KV, KU [J] mas	3.38	normal	1	3.38	Measurement
Compound uncertainty				3.70	
Extended Ue uncertainty with a 95% probability				7.4	%



x	KV
x1	70
x2	78
x3	79
x4	73
x5	76
x6	70
x7	78
x8	72
x9	71
x10	71
x11	77
x12	75
Number of determinations	12
Average	74.16667
Mean squared deviation	3.379977
Um=S/sqrt(n)	0.975715
Um with 95% probability	2.51
Um with 95% probability [%]	3.38

x	Cr	EL
x1	28	6.86
x2	27	6.54
x3	27	6.54
x4	28	6.75
x5	28	6.6
x6	27	7.2
Number of determinations	6	6
Average	27.5	6.748333
Mean squared deviation	0.547723	0.255062
Um=S/sqrt(n)	0.223607	0.104129
Um with 95% probability	0.57	0.27
Um with 95% probability [%]	2.07	4.00

raport 40 RAAN / 2009

III. Ocena (baza pytań i odpowiedzi oraz 5 praktycznych zadań egzaminacyjnych) - ograniczony dostęp do ANBs

System oceny obejmuje bazę 78 pytań i odpowiedzi zgodnych z wytycznymi szkoleniowymi EDTT (IO2) oraz egzamin praktyczny z pięcioma pytaniami, po jednym dla każdego modułu. Zasoby te są dostępne wyłącznie dla ANB (członków EWF). Plik Excel zawierający wszystkie pytania i odpowiedzi jest dostępny do pobrania na stronie internetowej projektu (<https://project-trust.eu/intellectual-output3.html>).

Baza danych pytań i odpowiedzi

Europejski kurs pilotażowy dla techników badań niszczących

Rozdział 1

Pytanie n.º	1 - Naprężenie mechaniczne można zdefiniować jako	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Siła na jednostkę powierzchni	X
Odpowiedź 2	Siła na jednostkę długości	
Odpowiedź 3	Siła przyłożona do próbki w próbie rozciągania	
Odpowiedź 4	Żadne z powyższych	

Pytanie n.º	2 - Granica plastyczności materiału oznacza przejście:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Zachowanie od ciągliwego do kruchego.	
Odpowiedź 2	Od twardszego do bardziej miękkiego zachowania.	
Odpowiedź 3	Zachowanie od elastycznego do plastycznego.	X
Odpowiedź 4	Zachowanie od twardego do kruchego	

Pytanie n.º	3 - Dzięki testowi udarności możemy określić:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Twardość materiału	
Odpowiedź 2	Granica plastyczności materiału	
Odpowiedź 3	Wytrzymałość materiału na pękanie	
Odpowiedź 4	Wytrzymałość materiału	X

Pytanie n.º	4 - Twardość materiału można zdefiniować jako:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Odporność na odkształcenia plastyczne	X
Odpowiedź 2	Odporność na odkształcenia sprężyste	
Odpowiedź 3	Odporność na pękanie	
Odpowiedź 4	Odporność na uderzenia	

Pytanie n.º	5 - Wszystkie typy maszyn do rozciągania zazwyczaj zawierają:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Rama nośna, ogniwo obciążnikowe i przetwornik przemieszczenia	X
Odpowiedź 2	Rama obciążeniowa, czujnik wagowy i ekstensometr	
Odpowiedź 3	Rama nośna, czujnik wagowy i silnik elektryczny	
Odpowiedź 4	Rama nośna, czujnik wagowy i siłownik hydrauliczny	

Rozdział 2

Pytanie n.º	6 - Jaki jest cel stosowania testów niszczących?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Testowanie materiałów spawalniczych i ich rozpoznawanie.	X
Odpowiedź 2	Wizualna ocena próbek.	
Odpowiedź 3	Aby określić rezystancję obwodu.	
Odpowiedź 4	Do oceny zdjęć rentgenowskich.	

Pytanie n.º	7 - Gdzie określono wymagania dotyczące badań niszczących?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	W krajowych standardach.	
Odpowiedź 2	W wymaganiach towarzystw klasyfikacyjnych.	
Odpowiedź 3	W wymaganiach jednostek certyfikujących.	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są poprawne	X

Pytanie n.º	8 - Które testy są podstawowymi testami niszczącymi?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Próba pełzania, badanie wizualne, badanie radiograficzne, próba zmęczeniowa.	
Odpowiedź 2	Próba rozciągania, próba zginania, pomiary twardości, próba udarowości.	X
Odpowiedź 3	Testy NDT.	
Odpowiedź 4	Pomiary wielkości ziarna, spawanie, testowanie śrub.	

Pytanie n.º	9 - Która z poniższych norm opisuje procedurę kwalifikowania technologii spawania?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ISO 15999-2	
Odpowiedź 2	ISO 15614-1	X
Odpowiedź 3	ISO 992-3	
Odpowiedź 4	ISO 28567-1	

Pytanie n.º	10 - Ile próbek należy przebadać dla złącza doczołowego rury zgodnie z wymaganiami normy 15614-1 w próbie rozciągania (poziom 2)?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	4	
Odpowiedź 2	1	
Odpowiedź 3	2	X
Odpowiedź 4	8	

Pytanie n.º	11 - Ile próbek należy przebadać dla złącza doczołowego rury zgodnie z wymaganiami normy 15614-1 w próbie zginania (poziom 2)?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	4	X
Odpowiedź 2	2	
Odpowiedź 3	5	
Odpowiedź 4	1	

Pytanie n.º	12 - Ile próbek należy zbadać dla spoiny pachwinowej zgodnie z wymaganiami normy 15614-1 w badaniu makroskopowym (poziom 2)?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	1	
Odpowiedź 2	3	
Odpowiedź 3	4	
Odpowiedź 4	2	X

Pytanie n.º	13 - Ile zestawów należy przetestować dla spoiny czołowej blachy zgodnie z wymaganiami normy 15614-1 w próbie udarności (poziom 2)?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	1 zestaw	
Odpowiedź 2	3 zestawy	
Odpowiedź 3	2 zestawy	X
Odpowiedź 4	2 zestawy	

Pytanie n.º	14 - Która z poniższych norm opisuje procedurę próby rozciągania w temperaturze pokojowej?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ISO 6892-1	X
Odpowiedź 2	ISO 15614-1	
Odpowiedź 3	ISO 6687-2	
Odpowiedź 4	ISO 6892-2	

Pytanie n.º	15 - Jakie parametry można określić za pomocą próby rozciągania?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności i ciągliwość materiału	X
Odpowiedź 2	Udarność, twardość Vickersa, wielkość ziarna	
Odpowiedź 3	Całkowite uderzenie plastyczne, wydłużenie pęknięcia, wytrzymałość na rozciąganie	
Odpowiedź 4	Twardość Brinella, granica plastyczności, temperatura nagrzewania	

Pytanie n.º	16 - Naprężenie, przy którym wydłużenie plastyczne jest równe określonemu procentowi długości miernika tensometrycznego:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Moduł sprężystości	
Odpowiedź 2	Górna granica plastyczności, ReH	
Odpowiedź 3	Wydłużenie, A	
Odpowiedź 4	Wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie plastyczne, Rp	X

Pytanie n.º	17 - W jakiej temperaturze, zgodnie z normą ISO 6892-1, należy przeprowadzić próbę rozciągania w kontrolowanych warunkach?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	nie jest określony	
Odpowiedź 2	23 °C ± 5 °C	X

Odpowiedź 3	30 °C ± 10 °C	
Odpowiedź 4	od 10 °C do 35 °C	

Pytanie n.º	18 - Jaka jest najczęstsza wartość współczynnika proporcjonalności k?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	28.62	
Odpowiedź 2	4.98	
Odpowiedź 3	5.63	X
Odpowiedź 4	10.99	

Pytanie n.º	19 - Kiedy system pomiaru siły powinien być ustawiony na zero?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	nie jest określony	
Odpowiedź 2	po uchwyceniu próbki testowej na obu końcach.	
Odpowiedź 3	po zakończeniu testu	
Odpowiedź 4	po zmontowaniu testowego zestawu ładującego, ale przed faktycznym uchwyceniem testowanego elementu na obu końcach.	X

Pytanie n.º	20 - Próbki testowe mają określony stosunek między początkową długością pomiarową L0 a początkowym polem przekroju poprzecznego S0. Można to zapisać wzorem:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	$L0 = k \cdot \sqrt{S0}$	X
Odpowiedź 2	$L0 = S0$	
Odpowiedź 3	$L0 = 23,6 \cdot \sqrt{S0}$	
Odpowiedź 4	$S0 = L0/2$	

Pytanie n.º	21 - Która metoda testowania szybkości opiera się na szybkości odkształcania?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Metoda C	
Odpowiedź 2	Metoda B	
Odpowiedź 3	Metoda A	X
Odpowiedź 4	Metoda D	

Pytanie n.º	22 - Jaki jest wzór na procentowe wydłużenie po zerwaniu?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	$L0 = k \cdot \sqrt{S0}$	
Odpowiedź 2	$A = (Lu - L0) / L0 \cdot 100\%$	X
Odpowiedź 3	$A = F / S0$	
Odpowiedź 4	$A = L0 / 2$	

Pytanie n.º	23 - Jaki jest wzór na procentowe zmniejszenie powierzchni?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	$Z = Z0 - Zu$	

Odpowiedź 2	$Z=L0/2$	
Odpowiedź 3	$Z=(Z0-Zu)/Z0*100\%$	X
Odpowiedź 4	$Z=(L0-Lu)/Z0*100\%$	

Pytanie n.º	24 - Czym jest parametr S0	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	wskaźnik stresu	
Odpowiedź 2	wydłużenie próbki	
Odpowiedź 3	przekrój po przerwie	
Odpowiedź 4	pierwotne pole przekroju poprzecznego długości równoległej	X

Pytanie n.º	25 - Czym jest parametr L0	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	oryginalna długość pomiarowa	X
Odpowiedź 2	wskaźnik stresu	
Odpowiedź 3	przekrój próbki	
Odpowiedź 4	twardość	

Pytanie n.º	26 - Co to jest parametr Agt	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	całkowite wydłużenie w punkcie przerywania	
Odpowiedź 2	procent całkowitego wydłużenia przy maksymalnej sile	X
Odpowiedź 3	rozszerzenie przy naprężeniu yeald	
Odpowiedź 4	procentowy wskaźnik stresu	

Pytanie n.º	27 - Jak oznaczamy procentowe wydłużenie po zerwaniu?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	A	X
Odpowiedź 2	Z	
Odpowiedź 3	Agt	
Odpowiedź 4	Przy	

Pytanie n.º	28 - Jak oznaczamy wytrzymałość, przedłużenie plastiku?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Rt	
Odpowiedź 2	Re	
Odpowiedź 3	Rp	X
Odpowiedź 4	Rz	

Pytanie n.º	29 - Jak oznaczamy maksymalną wartość naprężenia przed pierwszym spadkiem siły?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ReH	X
Odpowiedź 2	Rp	
Odpowiedź 3	Rt	

Odpowiedź 4	ReL	
--------------------	-----	--

Pytanie n.º	30 - Co to jest górna granica plastyczności ReH	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Minimalna wartość naprężenia po pierwszym spadku siły	
Odpowiedź 2	Maksymalna wartość naprężenia przed pierwszym spadkiem siły	X
Odpowiedź 3	Maksymalna wartość siły na wykresie rozciągania	
Odpowiedź 4	Rozszerzenie przy naprężeniu rocznym	

Pytanie n.º	31 - Która z poniższych norm opisuje procedurę poprzecznej próby rozciągania złączy spawanych?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ISO 6892-1	
Odpowiedź 2	ISO 15614-1	
Odpowiedź 3	ISO 4136	X
Odpowiedź 4	ISO 7015	

Pytanie n.º	32 - Zgodnie z normą ISO 4136 próbki do badań powinny być pobierane w następujący sposób	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	poprzecznie od złącza spawanego	X
Odpowiedź 2	wzdłużnie od złącza spawanego	
Odpowiedź 3	poprzecznie od materiału podstawowego	
Odpowiedź 4	nie jest napisane	

Pytanie n.º	33 - Która z poniższych norm opisuje procedurę próby rozciągania połączeń krzyżowych i zakładkowych?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ISO 99188	
Odpowiedź 2	ISO 9018	X
Odpowiedź 3	ISO 4136	
Odpowiedź 4	ISO 6892	

Pytanie n.º	34 - Która z poniższych norm opisuje procedurę testu zginania materiałów metalicznych?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ISO 7015	
Odpowiedź 2	ISO 9018	
Odpowiedź 3	ISO 15614	
Odpowiedź 4	ISO 7438	X

Pytanie n.º	35 - Która metoda gięcia nie została opisana w normie ISO 7438?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Gięcie za pomocą rolki	X
Odpowiedź 2	Urządzenie do gięcia z dwoma podporami i uchwytem	
Odpowiedź 3	Urządzenie do gięcia z blokiem V i matrycą	
Odpowiedź 4	Urządzenie do gięcia z zaciskiem	

Pytanie n.º	36 - Która z poniższych norm opisuje procedurę badania zginania spoin?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ISO 7123	
Odpowiedź 2	ISO 5134	
Odpowiedź 3	ISO 5173	X
Odpowiedź 4	ISO 6520	

Pytanie n.º	37 - O ile nie określono inaczej, test należy przeprowadzić w	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	temperatura pokojowa (21 ± 5) °C	
Odpowiedź 2	temperatura pokojowa (23 ± 5) °C	X
Odpowiedź 3	temperatura pokojowa (23 ± 1) °C	
Odpowiedź 4	w temperaturze określonej w specyfikacji materiału	

Pytanie n.º	38 - Prędkość badania podczas próby zginania zgodnie z ISO 5173	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Standardowa metoda badawcza ISO 5173 nie określa żadnej prędkości badania w odniesieniu do badania z użyciem matrycy lub wałka; wymagane jest jedynie zalecenie stopniowego i ciągłego obciążania próbki.	X
Odpowiedź 2	Do wykonania testu należy przyjąć maksymalną prędkość testową 10 mm/min.	
Odpowiedź 3	W normie ISO 5173 nie określono żadnych wymagań, dlatego próbka może być testowana z różną prędkością testową; jedynym celem testu jest uniknięcie uszkodzenia próbki.	
Odpowiedź 4	W normie ISO 5173 nie określono prędkości testowej, określono jedynie, że prędkość testowa musi być jak najniższa, a próbka może być testowana w kolejnych etapach, aby uniknąć awarii.	

Pytanie n.º	39 - Długość miernika do pomiaru wydłużenia spoin zgrzewanych podczas próby zginania musi wynosić	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Wydłużenie jest mierzone tylko na próbce rozciąganej, podczas próby zginania nie jest mierzone.	
Odpowiedź 2	równa dwukrotności maksymalnej szerokości spoiny po obróbce skrawaniem lub maksymalnej szerokości spoiny po obróbce skrawaniem lub równa szerokości spoiny pomniejszonej o grubość badanej próbki	
Odpowiedź 3	równa maksymalnej szerokości spoiny po obróbce mechanicznej	
Odpowiedź 4	równa maksymalnej szerokości spoiny po obróbce skrawaniem lub równa dwukrotności maksymalnej szerokości spoiny po obróbce skrawaniem lub maksymalna szerokość spoiny po obróbce skrawaniem lub równa szerokości spoiny pomniejszonej o grubość badanej próbki	X

Pytanie n.º	40 - Średnica matrycy lub wewnętrznej rolki równa 4-krotności grubości próbki jest wymagana, gdy	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	wydłużenie metalu macierzystego jest mniejsze niż 20%	
Odpowiedź 2	wydłużenie metalu macierzystego jest większe lub równe 20%	X
Odpowiedź 3	wydłużenie metalu macierzystego wynosi 20%	
Odpowiedź 4	wydłużenie metalu macierzystego jest większe lub równe 15%	

Pytanie n.º	41 - w przypadku przyrządu typu U, gdy grubość próbki wynosi 10 mm, promień tłoka wynosi 20 mm, a promień matrycy 32 mm.	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Fałsz, promień matrycy musi być równy promieniowi tłoka plus grubość próbki plus 5 mm.	
Odpowiedź 2	prawda	X
Odpowiedź 3	To prawda, ale tylko w przypadku metali macierzystych	
Odpowiedź 4	Fałsz, promień tłoka musi być 1,5 razy większy od grubości próbki, a zatem równy 25 mm.	

Pytanie n.º	42 - Każda próbka testowa zginania powinna być oznaczona w celu określenia jej dokładnej lokalizacji w wytworzonym produkcie lub w złączu, z którego została usunięta.	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Prawda	
Odpowiedź 2	Prawdziwa i każda próbka testowa powinna być oznaczona w celu zidentyfikowania jej dokładnej lokalizacji w badanej części, z której została usunięta.	X
Odpowiedź 3	Fałsz	
Odpowiedź 4	Prawdziwa i każda próbka testowa powinna być oznaczona w celu zidentyfikowania jej dokładnej lokalizacji w badanej próbce, z której została usunięta, jak określono w ASTM E340; w przeciwnym razie test nie może zostać przeprowadzony.	

Pytanie n.º	43 - W przypadku przeprowadzania badań w temperaturze innej niż pokojowa, jak długo próbki muszą być przechowywane w temperaturze badania?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	zależy od grubości próbki	
Odpowiedź 2	10 minut	
Odpowiedź 3	5 minut	X
Odpowiedź 4	20 minut	

Pytanie n.º	44 - W przypadku próbki o wymiarach 10x10x55 mm szerokość ma maksymalną tolerancję wynoszącą	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	0,10 mm	X
Odpowiedź 2	0,11 mm	
Odpowiedź 3	0,12 mm	

Odpowiedź 4	0,13 mm	
--------------------	---------	--

Pytanie n.º	45 - W przypadku próbek z karbem V i karbem U w teście Charpy'ego długość wiązadła wynosi odpowiednio	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	7,5 mm i 5 mm	
Odpowiedź 2	5 mm i 8 mm	
Odpowiedź 3	8 mm i 6 mm	
Odpowiedź 4	8 mm i 5 mm	X

Pytanie n.º	46 - Po wyjęciu badanej próbki z czynnika grzewczego lub chłodzącego, jeśli różnica między temperaturą otoczenia lub przyrządu a temperaturą badanej próbki jest mniejsza niż 25 °C, ile czasu może upłynąć, zanim zostanie ona uderzona przez zaczep?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	10 sekund	
Odpowiedź 2	1 sekunda	
Odpowiedź 3	5 sekund	X
Odpowiedź 4	15 sekund	

Pytanie n.º	47 - Jeśli złamiesz próbkę o wymiarach 5x10x55 mm i zarejestrujesz 20 J pochłoniętej energii, wyrażenie takiego wyniku w J/cm² odpowiada	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	40	
Odpowiedź 2	50	X
Odpowiedź 3	0.4	
Odpowiedź 4	0.5	

Pytanie n.º	48 - Wartość rozszerzalności bocznej jest równa sumie wyższej z dwóch wartości rozszerzalności uzyskanych dla każdej strony poprzez pomiar dwóch połówek oddzielnie.	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	To prawda, ale tylko na 10x10x55 mm	
Odpowiedź 2	To prawda, ale tylko w przypadku okazów z karbem w kształcie litery U	
Odpowiedź 3	Prawda	X
Odpowiedź 4	Fałsz, odpowiada średniej wszystkich wartości	

Pytanie n.º	49 - Część powierzchni pęknięcia złamanej próbki odpowiada "błyszczącej" części płaskiego obszaru pęknięcia.	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Fałsz, odpowiada to jedwabistemu aspektowi powierzchni pęknięcia	
Odpowiedź 2	To prawda, obszar ścinania i kruchości są takie same	
Odpowiedź 3	Fałsz, błyszczący obszar to obszar ścinania	
Odpowiedź 4	To prawda, kruchy obszar jest zazwyczaj błyszczący i krystaliczny	X

Pytanie n.º	50 - Aby zmierzyć procentową powierzchnię ścinania	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	można zastosować technikę analizy obrazu	
Odpowiedź 2	Rozwiązaniem może być powiększenie powierzchni pęknięcia i porównanie jej z ponownie skalibrowanym wykresem nakładki.	
Odpowiedź 3	można użyć obu rozwiązań wymienionych w poprzednich odpowiedziach	X
Odpowiedź 4	Ścinanie jest zawsze wyrażane w milimetrach zamiast w procentach.	

Pytanie n.º	51 - Odniesienie do standardowej metody badania (ISO 148-1)	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	jest obowiązkowy w raporcie z testu	X
Odpowiedź 2	jest opcjonalny w raporcie z testu	
Odpowiedź 3	jest to obowiązkowe tylko wtedy, gdy test jest przeprowadzany w temperaturze innej niż temperatura pokojowa.	
Odpowiedź 4	jest to obowiązkowe tylko wtedy, gdy próbki testowe z karbem V i karbem U były testowane w tej samej temperaturze	

Pytanie n.º	52 - Temperatura przejścia i kryteria zastosowane do jej określenia są obowiązkowymi informacjami, które należy umieścić w raporcie z badań.	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Fałsz, jest opcjonalny	X
Odpowiedź 2	Fałsz, jest to zalecane tylko wtedy, gdy wykonywane są testy w więcej niż 3 różnych temperaturach testowych	
Odpowiedź 3	Prawda	
Odpowiedź 4	To prawda, ale tylko dla próbki testowej z karbem w kształcie litery V	

Pytanie n.º	53 - Test pęknięcia może być przeprowadzony zarówno na złączach spawanych, jak i materiałach podstawowych.	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Fałsz, tylko na poślądkach	
Odpowiedź 2	Fałsz, tylko na spawach	X
Odpowiedź 3	Fałsz, również na materiałach kompozytowych	
Odpowiedź 4	To prawda, ale tylko w przypadku materiałów bazowych o grubości mniejszej niż 20 mm.	

Pytanie n.º	54 - Głębokość wycięć bocznych powinna wynosić	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Większa lub równa 70% pierwotnej szerokości próbki lub równa lub większa niż 60% całkowitej długości spoiny w badanej próbce, jeśli uwzględni się sumę głębokości nacięć bocznych.	X

Odpowiedź 2	Większa lub równa 70% pierwotnej szerokości próbki testowej	
Odpowiedź 3	Dokładnie 70% pierwotnej szerokości badanej próbki lub dokładnie 60% całkowitej długości spoiny w badanej próbce, jeśli weźmie się pod uwagę sumę głębokości nacięć bocznych.	
Odpowiedź 4	Maksymalnie 70% pierwotnej szerokości próbki lub maksymalnie 60% całkowitej długości spoiny w badanej próbce, jeśli uwzględni się sumę głębokości nacięć bocznych.	

Pytanie n.º	55 - Test twardości to zdolność materiału do stawiania oporu:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Drapanie	
Odpowiedź 2	Nosić	
Odpowiedź 3	Wcięcie	X
Odpowiedź 4	Złamanie	

Pytanie n.º	56 - Następujące testy są testami twardości	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Próba rozciągania	
Odpowiedź 2	Test Vickersa	X
Odpowiedź 3	Test Charpy'ego	
Odpowiedź 4	Test Wohlera	

Pytanie n.º	57 - Który z poniższych testów wykorzystuje wgłębnik piramidowy?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Test Brinella	
Odpowiedź 2	Test Rockwella	
Odpowiedź 3	Test Vickersa	X
Odpowiedź 4	Test Charpy'ego	

Pytanie n.º	58 - Wgłębnik Vickersa ma kąt między przeciwległymi powierzchniami diamentu wynoszący	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	20°	
Odpowiedź 2	90°	
Odpowiedź 3	136°	X
Odpowiedź 4	190°	

Pytanie n.º	59 - Które normy definiują test twardości Vickersa?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	ISO 6507-1	X
Odpowiedź 2	ISO 9606-1	
Odpowiedź 3	ISO 9001	
Odpowiedź 4	ISO 14001	

Pytanie n.º	60 - Jaka jest główna wada testu Vickersa?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Dokładne odczyty	
Odpowiedź 2	Jeden typ wgłębnika dla wszystkich typów materiałów	
Odpowiedź 3	Można mierzyć tylko twardość powyżej 450 BHN	
Odpowiedź 4	Duże maszyny wolnostojące	X

Pytanie n.º	61 - Jaka jest średnia twardość martenzytu według Vickersa?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	120 VHN	
Odpowiedź 2	140 VHN	
Odpowiedź 3	1000 VHN	X
Odpowiedź 4	2000 VHN	

Pytanie n.º	62 - Który test twardości jest najczęściej stosowany?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Charpy	
Odpowiedź 2	Brinell	
Odpowiedź 3	Test Vickersa	X
Odpowiedź 4	Test Mohsa	

Pytanie n.º	63 - Co oznacza HV10?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Zmierzona długość dwóch przekątnych	X
Odpowiedź 2	Zmierzona głębokość dwóch przekątnych	
Odpowiedź 3	Zmierzone odkształcenie wgłębnika	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są prawidłowe	

Pytanie n.º	64 - Minimalna odległość, jaką należy zachować między wgłębieniami, aby uniknąć interakcji między utwardzonym obszarem, wynosi	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	25	
Odpowiedź 2	35	X
Odpowiedź 3	95	
Odpowiedź 4	195	

Rozdział 3

Pytanie n.º	65 - W metrologii niepewność pomiaru to:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	wyrażenie statystycznego rozproszenia wartości przypisanych do mierzonej jakości	X
Odpowiedź 2	wyrażenie statystycznego rozproszenia wartości przypisanych mierzonej wielkości	

Odpowiedź 3	wyrażenie skrajnego rozproszenia wartości przypisanych do urządzenia	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są prawidłowe	

Pytanie n.º	66 - Niepewność pomiaru wynosi:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	parametr związany ze stopniem kwalifikacji operatora	
Odpowiedź 2	wcześniej ustalona wartość związana z wynikiem pomiaru	
Odpowiedź 3	parametr powiązany z typem materiału	
Odpowiedź 4	parametr powiązany z wynikiem pomiaru	X

Pytanie n.º	67 - Niepewność pomiaru wynosi:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	niezależnie od rodzaju źródeł	X
Odpowiedź 2	w zależności od rodzaju źródeł	
Odpowiedź 3	parametr, którego nie można ustalić	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są poprawne	

Pytanie n.º	68 - Standardowa niepewność:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	to niepewność wyniku pomiaru wyrażona jako błąd	
Odpowiedź 2	to niepewność wyniku pomiaru wyrażona jako odchylenie standardowe	X
Odpowiedź 3	to błąd wyniku pomiaru wyrażony jako odchylenie ekstremalne	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są poprawne	

Pytanie n.º	69 - Niepewność standardowa jest zwykle oznaczana symbolem:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	a	
Odpowiedź 2	e	
Odpowiedź 3	p	
Odpowiedź 4	u	X

Pytanie n.º	70 - Niepewność pomiaru może wynikać z:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	przyrząd pomiarowy	
Odpowiedź 2	mierzony element	
Odpowiedź 3	środowisko i operator	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są prawidłowe	X

Pytanie n.º	71 - Określenie niepewności pomiaru można wykonać dla:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	testy udarności	

Odpowiedź 2	pomiary twardości	
Odpowiedź 3	próba rozciągania	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są prawidłowe	X

Pytanie n.º	72 - Wiedza o wielkości, wywnioskowana z powtarzanych pomiarów, jest określana jako:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Oszacowanie typu A	X
Odpowiedź 2	Oszacowanie typu B	
Odpowiedź 3	Oszacowanie typu X	
Odpowiedź 4	Oszacowanie typu W	

Pytanie n.º	73 - Analiza niepewności pomiaru jest przydatna w przypadku:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	identyfikacja drobnych źródeł niespójności mierzonych wyników	
Odpowiedź 2	identyfikacja głównych źródeł niespójności mierzonych wyników	X
Odpowiedź 3	identyfikacja wszystkich możliwych źródeł niespójności mierzonych wyników	
Odpowiedź 4	Żadna z poprzednich odpowiedzi	

Pytanie n.º	74 - Precyzja wyników testu rozciągania zależy od wielu czynników:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	związane z testowanym materiałem	
Odpowiedź 2	maszyna testująca	
Odpowiedź 3	procedura testowa i zastosowane metody	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są prawidłowe	X

Pytanie n.º	75 - Testy międzylaboratoryjne mogą być wykorzystane do określenia:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	niepewność wyników w warunkach zbliżonych do stosowanych w laboratoriach przemysłowych	
Odpowiedź 2	ogólna niepewność wyników w warunkach zbliżonych do tych stosowanych w laboratoriach przemysłowych	X
Odpowiedź 3	ogólne błędy w warunkach innych niż stosowane w laboratoriach przemysłowych	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są prawidłowe	

Pytanie n.º	76 - Niepewność pomiaru wymiaru próbki poddanej próbie rozciągania:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	nie mają wpływu na pomiar wytrzymałości na rozciąganie	
Odpowiedź 2	wpływają na pomiar wytrzymałości na rozciąganie	X
Odpowiedź 3	mogą mieć wpływ na pomiar wytrzymałości na rozciąganie	
Odpowiedź 4	Wszystkie odpowiedzi są prawidłowe	

Pytanie n.º	77 - Procedura szacowania niepewności energii w teście udarności Charpy'ego musi składać się z kilku kroków. Który z poniższych kroków nie jest częścią procedury?	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	Identyfikacja parametrów, dla których należy oszacować niepewność	
Odpowiedź 2	Identyfikacja wszystkich źródeł niepewności w teście	
Odpowiedź 3	Klasyfikacja niepewności według typu A lub B	
Odpowiedź 4	Szacowanie błędu standardowego dla każdego operatora	X

Pytanie n.º	78 - Rozszerzona niepewność jest zdefiniowana jako:	Prawidłowa odpowiedź
Odpowiedź 1	wynik pomiaru, który pokazuje rozkład wartości ekstremalnych przypisany do wielkości mierzonej	
Odpowiedź 2	zakres rozkładu wartości, które zostaną przypisane do pomiaru	
Odpowiedź 3	zakres wokół wyniku pomiaru, który może obejmować dużą część rozkładu wartości, które można rozsądnie przypisać wielkości mierzonej.	X
Odpowiedź 4	Żadna z poprzednich odpowiedzi	

Egzamin praktyczny

Europejski kurs pilotażowy dla techników badań niszczących

Imię i nazwisko:

Nazwisko:

Data egzaminu:

Zadanie 1. Próba rozciągania metali

Oblicz procentowe wydłużenie po zerwaniu dla podanych danych. Początkową zmierzoną długość L_0 zaokrąglaj w górę do najbliższej wielokrotności 5 mm.

Dane:

$A=10$ mm; $b=25$ mm; $L_u=110$ mm; $k=5,65$

Zadanie 2. Próba rozciągania połączeń spawanych

Zdefiniuj miejsce pęknięcia próbki (metal spoiny, linia wtopienia, strefa wpływu ciepła, materiał rodzimy) pokazane na poniższym zdjęciu. Czy wynik testu jest pozytywny?



Zadanie 3. Próba zginania

Obliczyć średnicę trzpienia gnącego dla złącza spawanego wykonanego ze stali gatunku S355 ($A_{\min.18\%}$) o grubości 10 mm.

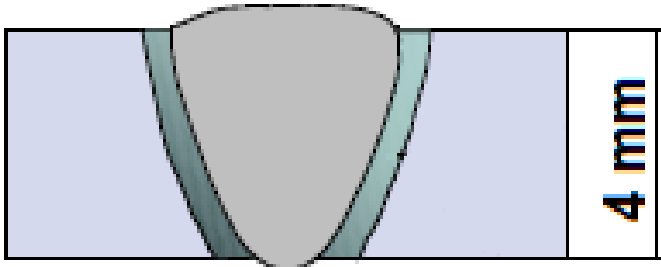
Zadanie 4. Badanie udarności

Obliczyć udarność dla standardowego obszaru przekroju poprzecznego ($10 \times 10 \times 55$) próbek z karbem w kształcie litery V dla danej pracy łamania.

	Energia uderzenia, J	Udarność, J/cm ²
1	27	
2	54	
3	39	

Zadanie 5. Pomiar twardości

Na poniższym schemacie złącza spawanego narysuj linie pomiaru twardości Vickersa zgodnie z wymaganiami normy ISO 15614-1.



IV. Wytyczne dotyczące rozwoju PPT

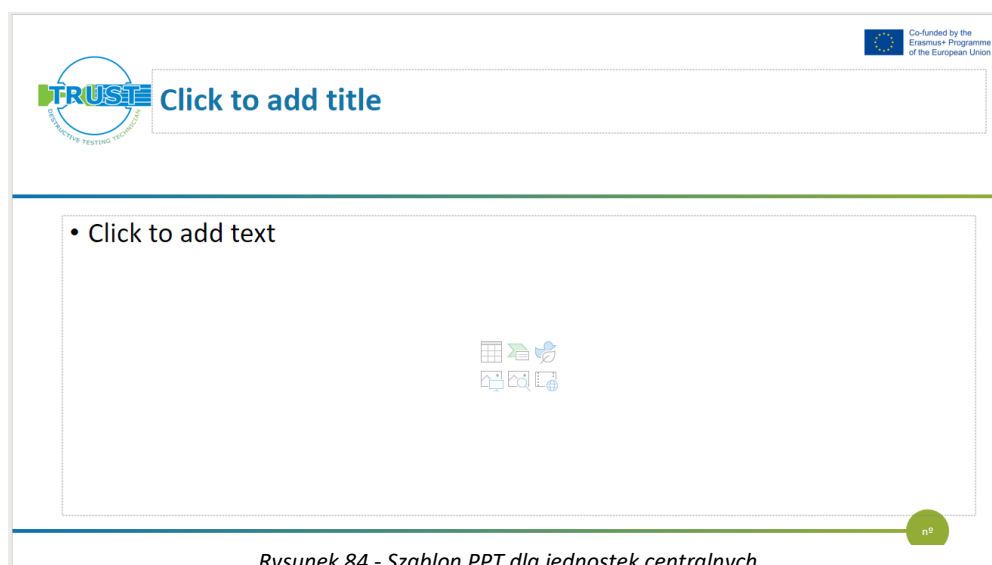
Ta sekcja zawiera zestaw zaleceń dla trenerów dotyczących rozwoju prezentacji treści technicznych, aby uczynić je bardziej atrakcyjnymi i dynamicznymi.

Celem niniejszych wytycznych jest zapewnienie trenerom pewnej orientacji lub wskazówek dotyczących opracowywania PPT dla każdej sesji szkoleniowej. Szablon jest dostępny do pobrania na stronie internetowej projektu (<https://project-trust.eu/intellectual-output3.html>). Poniżej przedstawiono kilka wskazówek, które należy wziąć pod uwagę podczas opracowywania prezentacji treści (PPT):

- Prezentacje PPTS powinny zawierać logo projektu TRUST / oraz szablon projektu PPT.



• Prezentacje powinny być zgodne ze strukturą podręcznika, to znaczy zgodnie ze zdefiniowanymi jednostkami CU;



- Rozpoczynając każdą sesję szkoleniową, uczestnikom powinien zostać przedstawiony Plan/Agenda Sesji, który jest zdefiniowany w "Szczegółowej Tabeli Wiedzy" w każdym CU (dokument "EDTT Profile Curricula").

SZCZEGÓŁOWA WIEDZA	MINIMALNA LICZBA GODZIN KONTAKTOWYCH
<p style="text-align: center;">Wprowadzenie do badań niszczących</p> <p>Cel DT. Podział DTs. Przegląd badań niszczących stosowanych podczas badań materiałów metalowych i ich złączy spawanych. Zasady bezpieczeństwa podczas badań niszczących. Zagrożenia dla personelu podczas badań niszczących. Zasady bezpiecznej obsługi sprzętu badawczego w DT. Środki ochrony indywidualnej personelu wykonującego badania niszczące</p>	1+0+0
<p style="text-align: center;">Projektowanie maszyn i urządzeń do badań niszczących</p> <p>Konstrukcja elektromechanicznych i hydraulicznych maszyn testujących. Konstrukcja stanowiska do prób zginania. Projektowanie maszyn do badań udarności i związane z tym wymagania. Projektowanie stacjonarnych maszyn do badania twardości, tj. ręcznych, półautomatycznych i w pełni automatycznych maszyn do badania twardości. <u>Zajęcia praktyczne w laboratorium</u> Demonstracja maszyn i urządzeń testujących używanych podczas DT materiałów i złączy spawanych.</p>	1+0+1

Tabela 18 - Szczegółowa tabela wiedzy IO2.

- Każdy CU PPT musi wyszczególnić efekty uczenia się

EFEKTY UCZENIA SIĘ	
JEDNOSTKA KOMPETENCJI	Testy mechaniczne (próba rozciągania, próba zginania, próba udarności Charpy'ego, próba pęknięcia, próba Vickersa)
WIEDZA	<p>Faktyczna i teoretyczna znajomość zasad i możliwości zastosowania:</p> <ul style="list-style-type: none"> normy dla różnych metod badań niszczących, próba rozciągania materiałów metalowych i różnych typów połączeń spawanych w temperaturze pokojowej, rodzaje i odmiany próbek do prób rozciągania, wykresy próby rozciągania, próba zginania materiałów metalowych i złączy spawanych, badanie udarności materiałów metalowych i połączeń spawanych, rodzaje metod badania udarności, pomiary twardości i mikrotwardości materiałów metalowych i połączeń spawanych, metody pomiaru twardości i mikrotwardości.
UMIĘJĘTNOŚCI	<ul style="list-style-type: none"> Sprawdź sprzęt, aby upewnić się, że jest bezpieczny i odpowiedni do użycia. Zidentyfikować próbkę w celu zapewnienia identyfikowalności. Użyj sprzętu pomiarowego do określenia wszystkich podstawowych wymiarów próbki. Przeprowadzanie testów rozciągania w celu określenia wymaganych właściwości zgodnie z normami Przeprowadzić wizualne badanie próbki po teście w celu analizy wyników po teście. Przeprowadzanie testów zginania metali i połączeń spawanych w celu potwierdzenia właściwości plastycznych materiału. Przeprowadzenie testu udarności metali i połączeń spawanych w temperaturze pokojowej i niższej w celu oceny wytrzymałości na uderzenia i procentowego złamania przy ścinaniu. Przeprowadzić test pęknięcia i zabezpieczyć pękniętą powierzchnię. Wykonywanie pomiarów metali i połączeń spawanych w celu oceny twardości. Raportowanie/dokumentowanie wyników testów zgodnie z obowiązującymi normami.

Tabela 19 - Tabela efektów uczenia się IO2.

- PPT powinien zawierać wyjaśnienie procesu oceny
- Ostatni slajd powinien zawierać imię i nazwisko oraz dane kontaktowe trenera



Rysunek 85 - Szablon slajdu końcowego prezentacji.

V. Narzędzie do pomiaru niepewności

Zgodnie z normą EN ISO/CEI 17025/2017 wszystkie laboratoria badawcze muszą posiadać i stosować procedurę szacowania niepewności. Oszacowanie niepewności i zadeklarowanie jej wartości w raporcie z analizy jest konieczne, gdy niepewność może mieć negatywny wpływ na zgodność ze specyfikacją.

Przykłady szablonów do rejestracji pomiarów niepewności dla różnych testów mechanicznych znajdują się w **dwóch załączonych plikach Excel** (związanych z pomiarem niepewności w przypadku prób rozciągania i udarności).