



SIS - Standardiseringskommissionen i Sverige

Standarden utarbetad av

SMS, SVERIGES MEKANSTANDARDISERING

SVENSK STANDARD SS-ISO 8401

Första giltighetsdag

Utgåva

Sida

Registrering

1988-11-15

1

1 (43)

SMS reg 6.750

SIS FASTSTÄLLER OCH UTGER SVENSK STANDARD SAMT SÄLJER NATIONELLA OCH INTERNATIONELLA STANDARDPUBLIKATIONER ©

I serien Ytbehandling av metaller har denna svenska standard nummer K 5601-1
--

Oorganiska ytbeläggningar — Metoder för duktilitetsmätning — Översikt

Denna standard utgörs av den engelska versionen av den internationella standarden ISO 8401-1986 med svensk översättning.

I avsnitt 4.6.4 har en svensk kommentar införts.

Metallic coatings — Review of methods of measurement of ductility

This Swedish standard consists of the English version of the International Standard ISO 8401-1986 with a Swedish translation

A Swedish comment has been inserted in subclause 4.6.4.

Innehåll	Sida	Contents	Page
1	3	1	3
2	4	2	4
3	4	3	4
3.1	4	3.1	4
3.2	6	3.2	6
3.3	7	3.3	7
3.4	8	3.4	8
3.5	9	3.5	9
4	11	4	11
4.1	11	4.1	11
4.2	11	4.2	11
4.3	12	4.3	12
4.4	13	4.4	13
4.5	14	4.5	14
4.6	14	4.6	14
4.7	15	4.7	15
5	16	5	16
6	16	6	16
Bilagor		Annexes	
A	17	A	17
B	19	B	19
C	20	C	20
D	22	D	22
	43		43

1 Omfattning och tillämpning

1.1 I denna internationella standard anges generella metoder för att mäta duktilitet hos metalliska ytbeläggningar som är tunnare än 200 µm samt framställda genom elektrolytisk eller autokatalytisk utfällning eller annan process (se anm).

Metoderna för att mäta duktilitet hos metalliska ytbeläggningar kan uppdelas i två huvudklasser:

- provning av frilagda ytbeläggningar (folier av beläggningen lossade från underlaget);
- provning av ytbeläggningar på underlag.

ANM — I de fall då specifika provningsmetoder ingår i internationella standarder för ytbeläggningar, bör dessa metoder ges företräde framför de metoder som beskrivs i denna internationella standard. Överenskommelse om detta bör träffas i förväg mellan leverantör och köpare.

1.2 Då det gäller provning av frilagda folier, som lossats från underlaget (se figur 1), kan folien bestå av ett eller flera metallskikt. Det är därför möjligt att mäta duktiliteten hos flerlayerskikt och bestämma inverkan på den totala duktiliteten från varje enskilt skikt. Metoder för provning av frilagda folier beskrivs i avsnitt 3. Metoder att framställa folier för provning behandlas i bilaga A.

1.3 Vid provning av ytbeläggningar på underlag (se figur 2) är det särskilt viktigt att bestämma den exakta tidpunkten när sprickor börjar uppträda i det översta skiktet. Man bör uppmärksamma de olika metoder som finns för att indikera denna tidpunkt med normal eller korrigerad syn eller med lupp. Se orienteringen över de olika metoderna. Dessa metoder kan även användas för att upptäcka sådan förspredning av underlaget som är orsakad av ytbeläggningsprocessen. Metoder för provning av ytbeläggningar på underlag beskrivs i avsnitt 4.

1.4 Trots att duktiliteten är en materialegenskap och oberoende av provföremålets dimensioner kan ytbeläggningens tjocklek inverka på storleken av den linjära töjningen ($\Delta l/l_0$).

1.4.1 Mycket tunna skikt har andra egenskaper än tjockare skikt beroende på att uppbyggnaden av skikten i initialskedet påverkas av underlaget (epitaxi). I detta initialskede kan kraftiga inre spänningar byggas in i skikten och dessa spänningar kan påverka duktiliteten.

1.4.2 Det är viktigt att ytbeläggningen har samma tjocklek över ytan, eftersom tunnare partier kommer att ge upphov till för tidig sprickbildning. Vid elektrolytisk ytbehandling blir skikten tunnare på partier med lägre strömtäthet och tjockare på partier med högre strömtäthet. Härigenom kan skillnader i strömtäthet leda till olika duktilitet. Strömtätheten bör därför hållas så jämn som möjligt över hela ytan och dess värde bör noteras.

1 Scope and field of application

1.1 This International Standard specifies general methods of measuring the ductility of metallic coatings of thickness below 200 µm prepared by electroplating, autocatalytic deposition or other processes (see the note).

The methods of measuring the ductility of metallic coatings can be divided into two main categories:

- tests on unsupported foils (separated from the substrate);
- tests of coatings on substrates.

NOTE — When specific methods of testing are included in International Standards for individual coatings, they should be used in preference to the methods described in this International Standard and should be agreed upon beforehand by the supplier and the purchaser.

1.2 In the testing of unsupported foils separated from the substrate (see figure 1), the foils may consist of one or more metallic layers. Therefore it is possible to measure the ductility of composites and to determine the influence of individual layers on overall ductility. Methods of testing of unsupported foils are described in clause 3. Methods of producing foils for testing are discussed in annex A.

1.3 In the testing of coatings on substrates (see figure 2), it is especially important to determine the exact point of crack initiation of the top layer. Attention is drawn to different methods of discerning this point, by normal or corrected-to-normal vision or with a lens. See the guidance in the individual methods. These methods can also be used to detect embrittlement of the substrate that may have resulted from the coating process. Methods of testing of coatings on substrates are described in clause 4.

1.4 Although ductility is a property of the material and independent of the dimensions of the test piece, thickness of the coating may have an influence on the value of linear elongation ($\Delta l/l_0$).

1.4.1 Very thin layers have different properties as the build-up of the initial layers will be influenced by the properties of the substrate (epitaxy). High internal stresses may be incorporated into the initial layers and these may affect ductility.

1.4.2 It is essential that the test piece has uniform thickness, as thinner spots will give rise to premature cracking. Also, the current density is lower at thinner parts and higher at thicker parts of electroplated test pieces; in this way current density differences may result in different ductilities. The current density applied should be maintained as uniform as possible over the test piece, and its value reported.

2 Definitioner

För denna internationella standard gäller följande definitioner.

2.1 duktilitet: förmåga hos en metallisk eller annan ytbeläggning att plastiskt och(eller) elastiskt deformeras utan att brista eller spricka

2.2 linjär töjning: kvot av töjning Δl och provföremålets ursprungliga längd l_0

Denna kvot används som ett mått på duktiliteten och anges ofta i procent.

ATT NOTERA VID DUKTILITETSMÄTNING

Normalt sker en töjning av provföremålet. Vid vissa bockningsprovningar förlängs provföremålets yttre lager, dvs ytbeläggningen (se figur 3). Men vid intryckningsprovning ökas foliens yta, så att beräkningen av den linjära töjningen måste ske utifrån minskningen i tjocklek. Att använda deformationskomponenten (töjningen) i endast en axelriktning skulle ge ett felaktigt värde på materialets duktilitet (se figur 4). I sådana fall är uttunnningen av folien, beräknad utifrån ökningen av ytans area, ett bättre mått på materialets duktilitet (se bilaga B).

3 Provningar på frilagda folier

Dessa provningsmetoder omfattar mätningar på folier som har skilts från underlaget (se figur 1). I detta fall kan den folie som skall provas även bestå av flera skikt, vilket möjliggör mätning av underliggande beläggningars inflytande på duktiliteten hos flerlagerskikt. Som exempel kan nämnas guldanslag på guld-kopparlegeringar och elektrolytiska beläggningar av nickel plus krom. Metoder att framställa frilagda folier beskrivs i bilaga A.

Fem provningsmetoder beskrivs.

3.1 Dragprovning

3.1.1 Princip

Bestämning av den linjära töjningen hos en folie som är fastspänd mellan backarna i en dragprovningssmaskin. Vid detta belastningsfall förlängs folien samtidigt som både bredd och tjocklek minskar.

3.1.2 Utrustning

Vid denna metod kan man utnyttja konventionell mekanisk provningsutrustning, som finns i handeln och på många metallurgiska laboratorier.^[1] Vid vissa tillämpningar kan man använda dragprovningsutrustning som gör det möjligt att iaktta provföremålet i mikroskop under pågående provning.

2 Definitions

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply.

2.1 ductility: The ability of a metallic or other coating to undergo plastic or elastic deformation, or both, without fracture or cracking.

2.2 linear elongation: The ratio of the elongation, Δl , to a definite initial length, l_0 , of the test piece. This is taken as a measure of ductility.

Often this ratio is expressed as a percentage.

NOTE ON MEASURES OF DUCTILITY

Normally the test pieces are elongated. With some bending tests, the outer layer of the test piece, i.e. the plating, is elongated (see figure 3). In bulge tests, however, the surface of the foil is enlarged, requiring calculation of linear elongation from the reduction in the thickness. Using the component of deformation (stretching) in only one axis would give false information about the ductility of the material (see figure 4). In those cases the thinning of the foil, as calculated from the increase in the surface area, is a better measure of the ductility of the material (see annex B).

3 Tests on unsupported foils

These techniques involve measurement of a foil which has been separated from the substrate (see figure 1). In this case, the foil to be tested can also consist of several layers so as to allow measurement of the influence of undercoats on the ductility of the foil sandwich. Examples are gold flash on gold/copper alloys and chromium-plated nickel deposits. Methods of producing unsupported foils are given in annex A.

Five methods are described.

3.1 Tensile testing

3.1.1 Principle

Determination of the linear elongation of a foil, which is clamped into the jaws of a tensile testing machine. In this type of stressing the foil is lengthened, but both the width and the thickness of the foil diminish.

3.1.2 Apparatus

This method may utilize conventional mechanical testing equipment, available commercially and in many metallurgical laboratories.^[1] For some applications, tensile testing equipment adapted to microscopic inspection during the test may be used.

3.1.3 Tillverkning av provföremål

Provföremålen kan tillverkas maskinellt genom fräsning, stansning eller klippning ur metallfolien, eller framställas genom fotokopiering med hjälp av ljuskänsliga lacker eller ljuskänsliga folier som appliceras på ett lämpligt underlag. Efter framkallning av provföremålets mönster kan det metallbeläggas till sin slutliga form. En liknande metod är kemisk eller elektrokemisk etsning av det önskade mönstret ur en folie på vilken man applicerat ett lämpligt skyddshölje med silkscreentryck, eller applicerat ett ljuskänsligt skyddshölje. De sistnämnda metoderna används i stor omfattning vid industriell tillverkning av mönsterkort. Provföremålen har vanligen rektangulär form men kan göras bredare i ändarna för att undvika brott vid inspänningsbackarna (se figur 7).

Vissa tillverkningsmetoder kan ge mikrosprickor i kanterna hos provföremålen, vilket kan orsaka för tidiga brott med felaktiga resultat som följd. Provberedning där fotokopiering eller elektroformning ingår är att föredra för att undvika kantdefekter.

Provföremål som elektrolytiskt metallbelagts till sin slutliga form kan bli tjockare vid kanterna, om man inte ordnar med skärning för att säkerställa jämn strömfördelning (se figur 10).

Gör markeringar med jämna mellanrum på provföremålets yta såsom visas i figur 7. Mät avståndet mellan markeringarna före provningen.

3.1.4 Utförande

Spänn in provföremålet mellan dragprovningssmaskinens backar och starta dragningen med en vald draghastighet. Mät avståndet mellan markeringarna på provföremålen efter provningen (se figur 8).

3.1.5 Resultat

3.1.5.1 Beräkning

Duktiliteten D , uttryckt i procent, fås av ekvationen

$$D = \frac{l_1 + l_2 - l_0}{l_0} \times 100$$

där

l_0 är avståndet mellan markeringarna före provningen;

$l_1 + l_2$ är avståndet mellan markeringarna efter provningen.

3.1.3 Preparation of test pieces

Test pieces may be machined, chipped, punched or cut from the metallic foil or prepared by photoprinting with the help of light-sensitive lacquers or light-sensitive foils which are pressed onto a suitable substrate. After developing the pattern of the test piece it is plated into the final form. A similar method uses chemical or electrochemical milling of the desired shape from a foil on which has been applied a suitable resist by silk screen printing or by applying a photosensitive resist. These last methods are widely used in the printed circuit industry. The test pieces are usually rectangular in shape, but can be widened at both ends to avoid breaking in the clamping jaws (see figure 7).

Some methods of preparing the test pieces may cause microcracking at the edges that results in premature failure and erratic results. Test piece preparation involving photoprinting or electroforming is preferred to avoid edge defects.

Test pieces plated into the final form may have thicker edges unless shielding and other techniques are used to ensure uniform current distribution (see figure 10).

Make equidistant marks on the surface of the test piece as illustrated in figure 7. Determine the distance between the marks before testing.

3.1.4 Procedure

Clamp the test piece between the jaws of the tensile test equipment and apply strain using a selected cross-head speed. Determine the distance between the marks on the test pieces after testing (see figure 8).

3.1.5 Expression of results

3.1.5.1 Calculation

The ductility, D , expressed as a percentage, is given by the equation

where

l_0 is the distance between the marks before testing;

$l_1 + l_2$ is the distance between the marks after testing.

3.1.5.2 Variationskoefficient

Mekaniskt framställda provföremål kan uppvisa värden på variationskoefficienten s/\bar{D} så höga som 20 % (s är standardavvikelsen och \bar{D} är medelvärdet av duktiliteten).

Genom utfällning direkt till den slutliga formen och med användning av skärmar för att åstadkomma jämn strömfördelning, kan man framställa provföremål som har lägre variationskoefficient.

3.1.6 Anmärkningar

3.1.6.1 Insnörning av provföremålet (se figur 8) kan medföra att man måste mäta mycket små längdändringar och därvid använda mikroskop med okularskala.

3.1.6.2 När man fäster ett bräckligt, tunt provföremål i dragprovningssmaskinens backar, kan man lätt råka förbelasta det, vilket kan resultera i ett för lågt värde på förlängningen.

3.1.6.3 Man måste iaktta försiktighet så att provföremålet inte deformeras (se figur 9).

3.1.6.4 Om dessa felkällor inte kan undvikas (3.1.6.1 till 3.1.6.3) bör man använda någon annan metod för duktilitetsmätning.

3.2 Vikning (böjningsprovning med mikrometer)

3.2.1 Allmänt

Denna metod lämpar sig endast för metallfolier med låg duktilitet.^[2] De värden som man får med denna metod har inte något enkelt samband med värden erhållna med andra metoder. Metoden är användbar för spröda metaller såsom glansnickel.

3.2.2 Utrustning

Mikrometer.

3.2.3 Tillverkning av provföremål

Skär till remsor 0,5 cm × 7,5 cm av den folie som skall provas. Folierna är vanligen 25 till 40 µm tjocka. De svårigheter som beskrivs under 3.1.3 och 3.1.6 föreligger också vid denna provning. Mät tjockleken hos provföremålet inom det område där det skall bockas och använd ett mätinstrument eller en metod som tillåter bestämning av tjockleken med noggrannheten inom 5 % av dess nominella värde.

3.2.4 Utförande

Bocka provföremålet till U-form och placera det mellan mikrometers skänklar så att det böjda partiet förblir mellan skänklarna då dessa skruvas mot varandra. Skruva långsamt tills folien spricker.

Notera avläst mätvärde på mikrometern samt foliens tjocklek (se figur 11).

Utför provningen minst två gånger.

3.1.5.2 Coefficient of variation

Mechanically prepared test pieces can have coefficients of variation, s/\bar{D} (where s is the standard deviation and \bar{D} the mean ductility), as high as 20 %.

By plating into the final form using shields to ensure uniform current distribution, test pieces can be produced which have lower coefficients of variation.

3.1.6 Notes on procedure

3.1.6.1 Necking of the test piece (see figure 8) may require measurement of very small changes in length and the use of a microscope that has a vernier scale.

3.1.6.2 Mounting fragile thin test pieces into the jaws of a tensile testing machine may give rise to prestressed test pieces which thereby diminish the real value of elongation.

3.1.6.3 Care shall be taken to avoid twisting of the test piece (see figure 9).

3.1.6.4 When these sources of error (3.1.6.1 to 3.1.6.3) cannot be eliminated, other methods of measuring ductility should be used.

3.2 Bending (micrometer bend test)

3.2.1 General

This method is suitable only for the evaluation of metallic foils having low ductility.^[2] The values obtained have no simple relation to values obtained by other methods. This method is useful for brittle metals such as bright nickel.

3.2.2 Apparatus

Micrometer.

3.2.3 Preparation of test pieces

Cut strips of 0,5 cm × 7,5 cm from the foil under test. The foils are usually 25 to 40 µm thick. The difficulties described in 3.1.3 and 3.1.6 apply likewise to this test. Measure the thickness of the test piece at the point of bending, using an instrument or method which enables the thickness to be determined to within 5 % of its nominal value.

3.2.4 Procedure

Bend the test piece into a U-shape and place it between the jaws of the micrometer so that as the jaws are closed the bend remains between the jaws. Close the micrometer jaws slowly until the foil cracks.

Record the micrometer reading and the thickness of the foil (see figure 11).

Carry out the test at least in duplicate.

3.2.5 Resultat

3.2.5.1 Beräkning

Räkna ut medelvärdet av avläsningarna på mikrometern (se 3.2.4).

Duktiliteten D , uttryckt i procent, fås av ekvationen (se figur 12)

$$D = \frac{\delta}{2\bar{r} - \delta} \times 100$$

där

δ är provföremålets tjocklek;

$2\bar{r}$ är medelvärdet av avlästa mätvärden på mikrometern.

3.2.5.2 Precision

Eftersom värdet på D stiger snabbare än värdet på δ , är det väsentligt att δ kan mätas med hög precision. Om man vid mätning av folien får 25 μm och verkligt värde är 20 μm , erhålls följande differens om man antar $2\bar{r} = 0,5$ cm:

$$D_1 = \frac{20 \times 10^{-4}}{0,5 - 20 \times 10^{-4}} \times 100 = 0,4 \%$$

$$D_2 = \frac{25 \times 10^{-4}}{0,5 - 25 \times 10^{-4}} \times 100 = 0,5 \%$$

Skillnaden blir $0,5 - 0,4 = 0,1 \%$.

Tjockleken 25 μm ger alltså en duktilitet som är 25 % högre än den man får vid tjockleken 20 μm .

Av detta följer att denna metod endast ger reproducerbara resultat, om δ kan mätas med en noggrannhet inom 1 μm och $2r$ på 0,01 cm.

3.3 Bockning (upprepad bockning i skruvstycke)

3.3.1 Allmänt

Fastän denna provning är enkel att utföra och kan vara av viss nytta, är det flera faktorer som kan påverka mätningarna och ge felaktiga värden på duktiliteten, bl a den kallbearbetning som orsakas av bockningen. Tjockleken hos provföremålet påverkar resultatet men graden av påverkan kan inte beräknas.

3.3.2 Utrustning

Skruvstycke, försett med två små backar för att hålla fast provföremålet (se figur 13).

3.3.3 Tillverkning av provföremål

Skär ut rektangulära remsor 1 cm x 5 cm ur metallfolien.

3.2.5 Expression of results

3.2.5.1 Calculation

Calculate the average of the micrometer readings (see 3.2.4).

The ductility, D , expressed as a percentage, is given by the equation (see figure 12)

where

δ is the thickness of the test pieces;

$2\bar{r}$ is the average of the micrometer readings.

3.2.5.2 Precision

As the value of D rises more rapidly than δ , it is essential that the value of δ be measured with high precision. If a foil of 20 μm is read as 25 μm , the following difference, supposing $2\bar{r} = 0,5$ cm, will be found:

i.e. a difference of $0,5 - 0,4 = 0,1 \%$.

A thickness of 25 μm will give results that are 25 % higher than for a 20 μm thickness.

It is obvious that this method will give reproducible results only when δ is measured to within 1 μm and $2r$ to within 0,01 cm.

3.3 Folding (vice-bend test)

3.3.1 General

Although this test is simple and may have some utility, the nature of the test, the cold working that occurs as a result of bending, and other factors may lead to incorrect measures of ductility. The thickness of the test piece affects the results, but the influence of thickness cannot be calculated.

3.3.2 Apparatus

Machinist's vice, equipped with two small machined jaws to hold the test piece (see figure 13).

3.3.3 Preparation of test pieces

Cut rectangular strips, 1 cm wide by 5 cm long, from the metal foil.

3.3.4 Utförande

Spänn fast provföremålet mellan skruvstyckets backar. Bocka provföremålet med liten bockningsradie i 90° vinkel, bocka det sedan tillbaka 180°. Upprepa bockningarna 180° tills det brister.

3.3.5 Resultat

Antalet bockningar tas som mått på duktiliteten.

3.4 Hydraulisk intryckning

3.4.1 Allmänt

Hydraulisk intryckningsprovning kan användas för noggrann mätning av duktiliteten hos tunnplåtmaterial. Det behövs ingen bearbetning av provföremålet. Det föreligger inga problem med axiell uppriktning som vid dragprovning. Provingen är särskilt användbar för duktilitetsmätning av duktila material. Tills nyligen har avsaknaden av kommersiellt tillgänglig utrustning hindrat mer omfattande användning av denna metod.^[3]

3.4.2 Princip (se figur 14)

Ett provföremål spänns fast mellan en undre cylinder och en övre platta. Den övre plattan har ett cirkulärt hål av samma storlek som cylinderns invändiga diameter. Man ökar vattentrycket successivt så att provstycket deformeras till en buckla eller kalott och fortsätter till dess folien brister.

3.4.3 Utrustning

Se figur 15.

3.4.4 Utförande

Fyll den undre cylindern med vatten upp till kanten med den utrustning som schematiskt visas i figur 15. Placera provföremålet på vattenytan. Använd den övre plattan, utformad som en ihålig kon, för att hålla fast provföremålet.

Fyll den ihåliga konen med vatten från den visade behållaren. Då konen är full, stiger vattnet i mätglasröret. Stäng ventilen som reglerar vattenflödet från behållaren när vattennivån i röret har kommit ovanför den optiska givaren. Starta motorn och flytta givaren långsamt uppåt. När den kommit i jämnhöjd med menisken böjs ljusstrålen av och det spänningsfall som då uppstår i givaren stoppar motorn.

Öka trycket hos vattnet under provföremålet med cylinderkolven. Då menisken i mätglasröret börjar stiga startar motorn och givaren följer vattenpelarens stigning. Registrera volymökningen på en *x-y*-skrivare med hjälp av potentiometern.

En tryckgivare i cylindern registrerar samtidigt trycket under provföremålet. I kommersiellt utförande av apparaten används en tryckavkännande strömbrytare för att stoppa motorn i det ögonblick då provföremålet brister, så att den totala volymen av undanträngt vatten direkt kan avläsas på potentiometern.

3.3.4 Procedure

Grip the test piece between the jaws of the vice. Bend the test piece sharply through 90°, then bend it successively in opposite directions through 180° until fracture occurs.

3.3.5 Results

The number of bends is taken as a measure of ductility.

3.4 Hydraulic bulging

3.4.1 General

Hydraulic bulge-testing can be used to measure the ductility of thin sheet materials accurately. No machining of the test piece is required, there are no problems of achieving axial alignment as in tensile testing, and the test is especially useful for measuring the ductility of ductile materials. Until recently, the lack of commercially available equipment has prevented wider use of this method.^[3]

3.4.2 Principle (see figure 14)

Clamping of a test piece between a bottom cylinder and an upper platen. The upper platen has a circular opening of the same diameter as the cylinder. Increasing the water pressure slowly and steadily to deform the test piece into a bulge or dome until the foil bursts.

3.4.3 Apparatus

See figure 15.

3.4.4 Procedure

With the equipment shown schematically in figure 15, fill the bottom cylinder with water to the rim. Place the test piece on the surface of the water. Use the upper platen, in the shape of a hollow cone, to clamp the test piece firmly in position.

Fill the hollow cone with water from the reservoir that is provided. The excess water will rise in the glass gauge. When the level of the water is above the light-sensing device, close the valve that controls the flow of water from the reservoir. Turn the motor on and slowly raise the light-sensing device. When the device is aligned with the meniscus, the beam of light within the device will be deflected; the drop in voltage that occurs as a result of this shuts off the motor.

The pressure under the test piece is increased by means of the plunger. When the meniscus in the glass gauge begins to rise, the motor will automatically begin to operate and the light-sensing device will track the rise in the level of water. By means of the potentiometer, record the increase in volume on an *x-y* recorder.

A pressure sensor in the cylinder simultaneously records the pressure beneath the test piece. In a commercial version of the equipment, a pressure-sensitive switch is used to shut the motor off at the moment of bursting so that the total volume of displaced water can be read directly from the digital display on the potentiometer.

3.4.5 Resultat

3.4.5.1 Beräkning

Metallprovets duktilitet kan beräknas ur volymen undanträngt vatten, som är lika med volymen i kalotten. Duktiliteten uttryckt i procent fås av den ekvation som härleds och diskuteras i bilaga C. Metallfoliens draghållfasthet kan också bestämmas ur värdet på trycket då kalotten brast (se bilaga C).

3.4.5.2 Variationskoefficient

Eftersom provningen endast berör den centrala delen av folien ($\phi 3$ cm) är det sannolikt att strömtätheten under utfällning och därmed tjockleken inom denna mätarea är jämnare än hos provföremål för dragprovning. Värdet på $s/\bar{D} = 0,05$, dvs 5 %, kan lätt uppnås.

3.4.6 Anmärkningar

Genomgående porer i provföremålet utgör en möjlig felkälla. De kan upptäckas före provning med genomlysning. En 100 W lampa i en låda med ett hål obetydligt mindre än hålet i den övre plattan eller konen är tillfyllest.

Om det finns genomgående porer i provföremålet kan man placera en mycket tunn plastfolie under detta för att hindra vatten att passera genom hålen.

Det ögonblick då provföremålet brister kan detekteras visuellt.

Om man stoppar motorn till den optiska givaren i detta ögonblick, får man ett tillfredsställande mått på den porösa foliens duktilitet.

3.5 Mekanisk intryckning

3.5.1 Allmänt

Mekaniska intryckningsprovningar liknar de hydrauliska. Intrycket (kalotten) formas emellertid mekaniskt så som schematiskt visas i figur 16.

3.5.2 Utrustning

Utrustning för duktilitetsmätning av tunna metallfolier finns inte tillgänglig i handeln men kan lätt byggas.

Två apparattyper används. Den enklaste består av en mikrometer, en spindelförlängning med en stålkula och ett par cirkulära plattor, vardera med en rund öppning i centrum^[4] (se figur 17).

3.4.5 Expression of results

3.4.5.1 Calculation

The ductility of the metal specimen may be calculated from the volume of the displaced water, which equals the volume inside the dome. The ductility, expressed as a percentage, is given by the equation derived and discussed in annex C. The tensile strength of the metal foil may also be determined from the value of the pressure at bursting (see annex C).

3.4.5.2 Coefficient of variation

Because only the centre of the foil ($\phi 3$ cm) is tested, the current density and the thickness in this region are probably more constant than in the case of tensile tests. Values of $s/\bar{D} = 0,05$, i.e. 5 %, are easily arrived at.

3.4.6 Notes on procedure

Pinholes in the test piece are one possible source of error. Pinholes can be detected prior to testing by "candling". A 100 W light bulb in a box with a hole slightly smaller in diameter than the opening in the top plate or cone is satisfactory.

When pinholes are present, it is possible to underlay the test piece with a very thin plastic foil which will stop the water from passing through the pinholes.

By visual observation it is possible to note the moment of cracking.

Stopping the motor of the light-sensing device at this moment will give fair indication of the ductility of the porous foil.

3.5 Mechanical bulging

3.5.1 General

Mechanical bulge tests are similar to hydraulic bulge tests. The dome, however, is formed mechanically as indicated schematically in figure 16.

3.5.2 Apparatus

Equipment for measuring the ductility of thin metal foils is not readily available, but can be easily assembled.

Two types of apparatus are used. The simplest one consists of a micrometer, a spindle extension with a steel ball and a pair of circular plates each with a round opening at the centre^[4] (see figure 17).

3.5.3 Utförande

Placera ett provföremål mellan de cirkulära plattorna. Kläm ihop den övre och den nedre plattan kraftigt med två skruvar. Skjut sedan långsamt upp provföremålet genom att skruva på mikrometern. Läs av hur lång sträcka stålkulan rört sig från den första kontakten med metallfolien till det ögonblick då de första sprickorna börjar uppträda.

Den första kontakten mellan stålkulan och provföremålet registreras elektriskt. En ficklampa är monterad på den övre mässingsplattan på sådant sätt att lampan tänds i det ögonblick då kulan berör provföremålet. Lampan fortsätter att lysa under provningen.

Begynnande bristning i provföremålet upptäcks med hjälp av en lupp ($f = 15 X$) fäst vid den övre plattan (inte visad i figur 17).

3.5.4 Resultat

Det är möjligt att ur den uppmätta höjden hos konen beräkna duktiliteten genom att räkna ut foliens tjockleksminskning (se bilaga D).

3.5.5 Speciella fall

Ett något modifierat förfarande kan vara att föredra. I den apparat som schematiskt visas i figurena 18, 19 och 20 är stålkulan stillastående och de två plattorna med provföremålet sänks nedåt med motordrift till dess att detta brister.

Apparaten är placerad under ett mikroskop, vilket möjliggör användning av 70 gångers förstoring för att upptäcka de första sprickorna. Vid starten av provningen stannar motorn när det blir kontakt mellan stålkulan och provföremålet. Då de första sprickorna börjar uppträda, stoppar man motorn manuellt. Höjden av konen mäts genom förskjutning av en linjär potentiometer med 5 μm upplösning.

Med motordriven apparat är det lättare att få bra resultat, p g a att

- det inte finns något vridmoment mellan kula och provföremål, vilket är fallet vid vridning av mikrometer-skruv;
- i ett mikroskop, helst med interferensbelysning av Nomarski-typ, indikeras mer tillförlitligt det ögonblick då de första sprickorna börjar uppträda;
- elektrisk mätning av konens höjd är noggrannare än mätning med mikrometer;
- bättre belysning och det faktum att avståndet mellan mikroskop och konens topp är konstant ger mer reproducerbara data än de man får med mikrometerinstrument. Värdet på $s/\bar{D} = 0,05$, dvs 5 %, kan lätt uppnås.

3.5.3 Procedure

Place a foil test piece between the circular plates. Clamp the upper and lower plates together firmly by means of two screws. Then slowly push the test piece upward by turning the micrometer. Read from the micrometer the distance travelled by the steel ball from the initial contact with the metal film to the point of crack initiation.

The initial contact point between the steel ball and the test piece is detected electrically. A battery-operated lamp is fitted into the upper brass plate in such a way that the lamp lights at the instant the steel ball touches the test piece. The lamp stays lit throughout the test.

The visual detection of the initiation of rupture is accomplished with the aid of a magnifier ($X 15$) attached to the upper plate (but not shown in figure 17).

3.5.4 Expression of results

It is possible to calculate the ductility from the height of the cone by calculating the loss of thickness of the foil (see annex D).

3.5.5 Special cases

It may be preferable to use a slightly altered procedure. In the apparatus shown schematically in figures 18, 19 and 20, the steel ball remains stationary, but the two plates and the sample are moved downward with a motor until the test piece cracks.

The instrument is placed under a microscope which enables use of $X 70$ magnification when looking for the first cracks. At the start of the test, the motor stops when electrical contact between the steel ball and the test piece is made. At the moment of cracking the motor is stopped by hand. The height of the cone is measured by the displacement of a linear potentiometer with a resolution of 5 μm .

With the motor-driven apparatus, it is easier to obtain good results because

- there is no twisting moment of the steel ball against the foil, which will be the case when turning the micrometer screw;
- a microscope, preferably with interference lighting of the Nomarski-type, will indicate the moment of appearance of the first cracks with more reliability;
- electrical measurement of the height of the cone is more precise than a micrometer;
- better lighting and the fact that the distance between the microscope and the summit of the cone is constant give more reproducible data than in the case of the micrometer instrument. A value of $s/\bar{D} = 0,05$, i.e. 5 %, is easily arrived at.

4 Provningsmetoder på ytbeläggningar med underlag

Dessa metoder omfattar provning av ytbeläggningar på underlag (se figur 2). I detta fall är det av största vikt att finna exakt det moment då ytskiktet spricker. Observera de olika metoder som finns att upptäcka denna punkt med normal eller korrigerad syn eller med lupp. Se de anvisningar som ges i beskrivningen för de olika metoderna.

Om det inte är fråga om att utvärdera mycket spröda elektrolytiska beläggningar måste underlaget vara mycket duktilt. Mjukglödgad koppar eller mässing eller en lämplig plast såsom ABS är att föredra. Om substratet utgörs av elektrolytiskt metallbelagd ABS kan den exakta tidpunkten för sprickbildning indikeras mycket noga genom att registrera den elektriska resistansen i ytbeläggnings under pågående provning (se figur 21). I vissa fall kan syftet med provningen vara att mäta den försprödning hos underlaget som beror på den elektrolytiska processen, t ex väteförsprödning hos förzinkat stål.

Med dessa metoder undgår man många av de olägenheter som är förknippade med hantering av mycket tunna folier men problem uppstår med att fastställa den tidpunkt då ytskiktet spricker.

Sju provningsmetoder beskrivs.

4.1 Dragprovning

4.1.1 Utrustning

Se 3.1.2.

4.1.2 Tillverkning av provföremål

Ytbeläggningarna skall fällas ut med god vidhäftning till underlaget, vilket måste vara mera duktilt än beläggningarna.

Provföremålen skall maskinbearbetas. Sidorna kan poleras, så att sprickbildning från kanterna undviks. Insnörningen reduceras påtagligt och det är lätt att spänna in provföremålet i dragprovmaskinens backar utan uppriktningssfel.

4.1.3 Utförande

Se 3.1.4.

Den exakta tidpunkten när sprickor börjar uppträda är svår att bestämma även om man hos relativt spröda elektrolytiska utfällningar med hög glans, såsom nickel, kan fastställa den visuellt.^[5] Då det gäller elektrolytiskt utfällda skikt på plaster, kan man finna den exakta tidpunkten för sprickbildning genom att under provning registrera den elektriska resistansen hos den metalliska beläggningen (se figur 21).

4.2 Trepunktsböckning^[6]

4.2.1 Princip

En kraft påläggs vinkelrätt mot den del av provföremålet som skall böckas, vanligen på mitten.

4 Tests on coatings on substrates

These techniques involve testing a foil on a substrate (see figure 2). In this case, the utmost care has to be taken to find the exact point at which the top layer cracks. Attention is drawn to different methods of detecting this point, by normal or corrected-to-normal vision, or with a lens. See the guidance given in the descriptions of the individual methods.

Unless, therefore, very brittle electrodeposits are being assessed, the substrate has to be very ductile. Annealed copper or brass, or a suitable plastics material such as ABS, are preferred substrates. If the substrate is electroplated ABS, the moment of cracking can be found exactly by recording the electrical resistance of the test layer during the test (see figure 21). In certain cases, the purpose of the test is to measure the embrittlement of the substrate by the electroplating process, for example hydrogen embrittlement of zinc-coated steel.

Using these methods will avoid many of the drawbacks caused by handling very thin foils, but the problem of ascertaining the moment of cracking of the top layer arises.

Seven methods are described.

4.1 Tensile testing

4.1.1 Apparatus

See 3.1.2.

4.1.2 Preparation of test pieces

The coatings are deposited adherently on a substrate that shall be more ductile than the coatings.

Test pieces shall be machined and the sides can be polished, thus preventing edge-cracking. Necking is considerably reduced and it is easy to mount the test piece into the jaws of the tensile machine avoiding misalignment.

4.1.3 Procedure

See 3.1.4.

It is difficult to determine the exact moment of crack initiation, although in relatively brittle, high gloss electrodeposits like nickel it can be ascertained by visual observation.^[5] In the case of electrodeposited coatings on plastics, the moment of cracking can be found exactly by recording the electrical resistivity of the metallic coatings during testing (see figure 21).

4.2 Three-point bending^[6]

4.2.1 Principle

Application of a force transversely to the test piece in the portion that is being bent, usually at the centre of the test piece.