

Ola Svensson

Emalj på jærnsnide

Vidhäftning och appliceringsmetoder till olika ståltyper med glasbaserat emalj



Høgskolen i Sørøst-Norge
Fakultet for estetiske fag, folkekultur og lærerutdanning
Institutt for folkekultur
Postboks 235
3603-Kongsberg

<http://www.usn.no>

© 2016 Ola Svensson

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng
Foto på framsidan: Ola Svensson

Abstract

In this master thesis I investigate the possibilities and limitations of vitreous enamel on wrought iron. Despite widespread use in the industry today, vitreous enamels are almost not used at all in blacksmith works, as far as I know. The industry has different possibilities and constraints from those of the blacksmiths. With enamel as a supplementary material for steel, it opens new aesthetic possibilities for expression for artistic blacksmiths

The research and knowledge in the field is based on industrial premises. These premises differs between blacksmiths and industry, and to customize materials and methods, it needs further investigation. In this master's thesis I will investigate how the enamel and working methods work in a blacksmith perspective.

The research is conducted by an experiment based study of how enamels from three different producers work on various steel types with different application methods and various pre-treatments of the steel. In a main study nine different types of steel are tested systematically, with focus on which combination of steel types, enamel types, application methods and pre-treatments provide a useful adhesion based on blacksmith premises. After a test-piece survey I apply the findings of the test-piece examination to test enamelling techniques on a full-scale object. The purpose of this is to see how enamelling techniques and enamel works when the entire process, to manufacture ironwork, is included. That way, all the factors are included to see how the materials and working method works in practice.

Sammanfattning

I denna mastergradsavhandling undersöker jag möjligheter och begränsningar med glasbaserad emalj på järnsmide. Trots omfattande användning inom industrin idag, används glasbaserad emalj inte i någon stor utsträckning inom hantverksmässigt järnsmide. Industrin har andra förutsättningar och begränsningar än det hantverksmässiga friformssmidet har. Med emalj som ett kompletterande material på stål öppnas nya estetiska uttrycksmöjligheter för konstsmeder.

Den forskning och kunskap som finns på fältet är baserad på industrins premisser. Förutsättningarna för emaljering för det hantverksmässiga konstsmidet skiljer sig från industrins och för att anpassa material och arbetsmetoder anser jag att det behövs vidare undersökningar. Forskningen i denna mastergradsavhandling syftar till att undersöka hur emaljen och arbetsmetoderna fungerar i ett järnsmidesperspektiv.

Efter en genomgång av litteraturen på fältet följer en experimentbaserad undersökning av hur tre olika emaljfabrikat fungerar på olika ståltyper med olika appliceringsmetoder och olika förbehandlingar av stålet. I en huvudundersökning testas nio olika ståltyper systematisk med fokus på vilka kombinationer av ståltyp, emaljtyp, appliceringsmetod och förbehandling som ger, en användbar vidhäftning för konstsmide. Efter en provbitsundersökning följer en undersökning där erfarenheten från provbitsundersökningen används för att testa emaljeringstekniker på fullskaliga objekt. Syftet är då att se hur emaljeringsteknikerna och emaljen fungerar när hela processen, med att tillverka konstsmide, är med. På de viset kommer alla faktorer med, så att man kan utvärdera hur material och arbetsmetod fungerar i praktiken.

Innehållsförteckning

Abstract	1
Sammanfattning	2
Förord	6
1 Introduktion.....	7
2 Litteraturöversikt	9
2.1 Kort historisk introduktion till emaljens utveckling	9
2.2 Emaljens grund: glas	10
2.3 Emaljsammansättningar.....	12
2.4 Hur fäster emalj på stål	12
2.5 Ståltypen för emalj	14
2.6 Preparering av underlaget.....	16
2.7 Färger i emaljen	17
2.8 Tillverkning av emalj	18
2.9 Applicering av emalj.....	19
2.10 Dekorering.....	23
2.11 Bränning av emalj	25
2.12 Testning av emalj.....	27
2.13 Tidigare arbeten på fältet	28
2.14 Sammanfattning av källorna i litteraturöversikten	28
3 Forskningsdesign.....	30
3.1 Problemställning.....	30
3.1.1 Definition av begrepp	31
3.2 Metod.....	33
4 Testserier med emalj på stål.....	35
4.1 Provbiterundersökning	35
4.1.1 Inledande testserie	37
4.1.2 Inledande vidhäftningstestserie	40
4.1.3 Testserie med tid och temperatur.....	44
4.1.4 Testserie med oxidskikt, glödska	45
4.1.5 Testserie med vidhäftning till glödd yta och oxidfri yta på 4 ståltypen	47
4.1.6 Bränntid och bränntemperatur för Thompson grundemalj	51

Høgskolen i Sørøst-Norge
Fakultet for estetiske fag, folkekultur og lærerutdanning

4.1.7	Testserie med torrströningsteknik och färgprover på WG Ball emaljer	51
4.1.8	Våtapplicering av emalj med tryckluftsspruta	55
4.1.9	Testserie på tjocklek vid våtsprutning med tre olika emaljer	59
4.1.10	Testserie med våtappliceringsteknik och färgprover på Thompson emaljer.....	62
4.1.11	Testserie med våtappliceringsteknik och färgprov på WG Ball emalj.....	65
4.2	Huvudstudie med vidhäftning av tre emaljtyper till nio ståltyper med olika påföringsmetoder och ytor	69
4.2.1	Vidhäftning med våtapplicerad WG Ball grund och vit	76
4.2.2	Vidhäftning med våtapplicerad WG Ball vit utan grundemalj	77
4.2.3	Vidhäftning med våtapplicerad WG Ball grön utan grund	80
4.2.4	Vidhäftning med våtapplicerad Skillinge emalj grund och vit.....	82
4.2.5	Vidhäftning med våtapplicerad Skillinge emalj vit utan grund	83
4.2.6	Vidhäftning med våtapplicerad Thompson grund och vit.....	85
4.2.7	Vidhäftning med våtapplicerad Thompson vit utan grund	86
4.2.8	Vidhäftning med våtapplicerad Thompson grön utan grund.....	87
4.2.9	Vidhäftning med varm- och torrapplicerad Thompson grund och vit	88
4.2.10	Vidhäftning med varm- och torrapplicerad WG Ball grund och vit	92
4.2.11	Sammanfattning av resultaten från huvudstudien	93
4.3	Praktisk utprovning med objekt i fullskala	95
4.3.1	Formgivning	95
4.3.2	Smide av svampelement	96
4.3.3	Våtemaljeringen med pensel av svampformerna	100
4.3.4	Sprutemaljering av blå kant.	104
4.3.5	Torr- och varmemaljerad takkupa	109
4.3.6	Sammanfattning av resultat från den praktiska utprovningen	115
5	Diskussion	117
6	Slutsatser	124
	Referenser/litteraturförteckning	127
	Ordlista	130
	Bildförteckning.....	133
	Bilagor.....	134
	Inledande testserie	134
	Inledande vidhäftningstestserie	136
	Testserie med tid och temperatur	142

Testserie med oxidskikt, glödska	146
Testserie med vidhäftning till glöddyta och oxidfri yta på 4 ståltyper	148
Testserie med bränntid och temperatur	153
Testserie med WG Ball emalj applicerad torr	155
Test med våtsprutad emalj	163
Testserie med tjocklek vid våtsprutning	163
Testserie med Thompson våtsprutad grund och våtpenslad täckemalj	165
Testserie med WG Ball våtapplicerad	175
Vidhäftnings testserie med nio ståltyper	179
Första versionen av testprotokollet	228
Sista och femte versionen av testprotokollet	229

Förord

Baserat på min bakgrund som bland annat träbåtbyggare silver och järnsmed, har jag i de föremål som jag har formgivit, arbetat mycket med möten mellan olika material. Jag tycker att själva mötet skapar en spänning mellan materialen och förändrar materialens egenskaper. När materialen interagerar med varandra i ett föremål förstärker de ofta materialens egenskaper och skapar ett spännande uttryck. Eftersom mina huvudmaterial är trä och metall, har materialmötena oftast handlat om olika trä- och metallmaterial. På senare tid har jag mer och mer intresserat mig för glas som material och har tagit kurs i glasomformning av returglas. Järnsmedshantverket har alltid fascinerat mig, både arbetsprocessen och materialet. Jag tycker om det plastiska uttrycket som uppstår med smidet. Även om jag inte har jobbat så mycket med glas och emalj så har jag en god grund i smidet och har jobbat med det över längre tid. Det är alltid spännande att hitta nya möjligheter inom hantverket och därför vill jag använda mitt intresse för materialmöten och detta masterprojekt till att undersöka ett i liten utsträckning använt materialmöte mellan smidesjärn och emalj. Med emalj på stålytan förändras uttrycket och färger tillkommer. På så sätt utmanas det svarta i det traditionella svartsmidet. Tanken är att detta tilläggsmaterial ska integreras smidigt i smedens arbete. Emalj på stål ger i mina ögon nya uttrycksmöjligheter för konstsmider som arbetar med traditionellt smide som arbetsmetod. Jag vill slutligen tacka de som har hjälpt mig med detta arbete.

Furubakken, 8. maj 2016

Ola Svensson

1 Introduktion

Även om mycket är olika mellan emalj och stål så har det i mitt perspektiv ett gemensamt ursprung. Båda tillverkas och bearbetas varmt och i smält form. Båda har viktiga transformationsområden¹² som är väsentliga för användandet. Emalj på stål har använts både hantverksmässigt men framförallt inom industrin i snart 200 år. Huvudsakligen har emaljen använts innan för industriell produktion för att tillverka hushållsartiklar som grytor, beklädnad av hushållsmaskiner, badkar och en del andra föremål. För industriell användning har det använts till kemitankar och som arkitektoniska skivor. I mer hantverksmässiga sammanhang är det först och främst använt på skyltar och till viss del på mindre hushållsprodukter. De emaljerade föremålen både inom industri och hantverk tillverkas oftast av plåt eller gjutjärn. Trots att emalj för stål har funnit så länge ser det inte ut som att det har använts på traditionellt järnsmide, mer än i mycket liten skala. Det finns exempel på att emalj är använt men det är mycket lite skrivet om det och jag har inte funnit någon forskning gjord med syfte att utveckla emaljering specifikt för traditionellt utfört smidesjärn. Industrin har andra möjligheter och begränsningar än en traditionellt³ arbetande konstsmed.

Som jag ser det ger en användning av emalj på järnsmide nya möjligheter för konstsmeder och att emalj på smidesjärn inte har blivit utnyttjat mer framstår som en outnyttjat potential. Jag är först och främst fokuserad på de estetiska möjligheterna med emaljen, men det finns också praktiska användningsområden. Ett sådant exempel är korrosionsskydd på föremål som befinner sig utomhus som till exempel vara skulpturer, grindar och andra arkitektoniska element.

¹ Transformationsområde finns för både stål och emaljen i min mening. Emaljen har ett glastransformationsområde som är helt avgörande för dess funktion och användbarhet. Glastransformationsområde betyder att glas inte har en punkt där det övergår från en form till en annan. I glastransformationsområdet övergår glaset steglöst från fast material, till flytande material under det att viskositeten förändras jämnt. Hade detta transformationsområde inte funnits så hade emaljen övergått från fast till helt flytande på en exakt temperatur och runnit av alla föremål direkt. På motsvarande vis som is smälter till vatten vid 0°C och inte passerar igenom ett halvsmält degaktigt tillstånd.

² Stål är ett kristallint material och har därför inget glastransformationsområde men varmsmidet utnyttjar att stålet blir lättare att plastiskt deformera med ökande temperatur. Denna sänkning av flytgränsen sker också i ett område som ligger temperaturmässigt parallellt med emaljen. Det är i mina ögon också ett transformationsområde där stålet går från hårt och starkt till mjukt och formbart (Varshneya, 2013, pp. 13-17).

³ Med traditionellt arbetande konstsmed menar jag en smed som huvudsakligen arbetar med varmt firformssmide men med inslag av moderna tekniker och material.

För att hålla konsthantverket levande, är det viktigt att hitta nya uttryck och nya uttrycksmöjligheter. På så sätt hålls konsthantverket i en kontinuerlig utveckling, tillsammans med samhället i övrigt.

Syftet med detta arbete är att undersöka vilka möjligheter och begränsningar som finns för emalj på traditionellt utfört järnsmide. För att påbörja undersökningen har jag följande utgångspunkt för genomgången av litteraturen på fältet: Vad är emalj för stål och hur fungerar det? Vilken typ av stål används? Hur fäster emaljen på stålet? Vad ger färgen i emaljen? Vilka appliceringsmetoder finns och när används de? Hur behandlas stålet före emaljering?

2 Litteraturoversikt

Denna litteraturoversikt över emaljering på stål inleds med ett kort avsnitt om emaljens historiska utveckling, följt av en genomgång av vad emalj är och hur den är uppbyggd. Därefter redovisas de olika teorierna kring hur emalj fäster på stål, samt vilka egenskaper olika ståltypen har. Nästa avsnitt behandlar prepareringen av stålytan före emaljering och hur färgerna skapas i emaljen, och därefter följer en utförlig redogörelse av industriella och hantverksmässiga appliceringstekniker. Litteraturoversikten avslutas med en genomgång av bränningen av emalj och hur man testar vidhäftning mellan stål och emalj, och en översikt av tidigare arbeten på fältet.

2.1 Kort historisk introduktion till emaljens utveckling

Det är okänt exakt när emalj uppfanns men det är troligt att egyptierna var de första. De hade endast tillgång till vit och blå färg. De äldsta emaljerade föremålen som man känner till är från omkring 400 f.Kr. Först användes endast guld som underlag för emaljen. Senare användes även silver, brons och koppar. Först i början på 1800-talet blev emalj för stål utvecklad. Detta ledde till ett mycket bredare användningsområde. I stället för att endast fungera för visuella ändamål på smycken blev emalj använd på köksutrustning, kemiska behållare, spisar och mycket annat. Utvecklingen inom kemi och fysik bidrog också och bidrar fortfarande till utvecklingen av emaljen, genom tillgång till nya och renare ämnen. Även utvecklingen inom stålproduktionen utvecklar emaljindustrin. Först emaljerades endast gjutjärn och då ströddes emaljen torrt på varmt stål. Denna metod används fortfarande för gjutjärn. Utvecklingen av emalj för valsat stål och smidbara stål skedde i Tyskland och Österrike, huvudsakligen efter 1850. Ett stort steg i utvecklingen var användandet av lera i emaljen. Det gör det möjligt att suspendera⁴ emaljen i vatten. Denna blandning kallas slipp⁵ och den kan man applicera på stålytan med doppning, hällning och sprayning (Andrews, Pagliuca, & Faust, 2011, pp. 1-12). Idag sker utvecklingen innanför emaljindustrin framförallt mot mindre giftiga emaljer och effektivare processer som kräver mindre tid och energi.

⁴ Suspendera är att förhindra att partiklar sjunker till botten i en vätska. Partiklarna håller sig fördelade i vätskan.

⁵ Slipp är en blandning av emalj och vatten, den innehåller vanligtvis andra ämnen för att suspendera och stärka emaljskiktet när det är torr (Wratil, 1984, pp. 40-49).

2.2 Emaljens grund: glas

Emalj är en beläggning av oorganiskt glas som smälts på grundmaterialets yta så att det fäster sig, vanligen både kemiskt och mekaniskt. Ordet emalj används också för tandemalj vilket avser ett organiskt uppbyggt skikt på djur och människors tänder. En del producenter av härdande eller torkande organiskt baserad lackfärg använder ordet emalj i varunamnet. Den så kallade ”emaljlacken” och tandemaljen har inget gemensamt med den oorganiska glasemaljen.

Grunden i emalj är glas som har anpassats till de material som ska emaljeras. De material som kan emaljeras är antingen keramiska eller metalliska. Alla de keramiska materialen och de anpassningar som görs av emaljen till dem ligger utanför detta projekt. Ett antal olika metaller används för emaljering. Järn och stål är volymmässigt det absolut vanligaste metalliska materialet för emaljering i världen. Medan ädelmetallerna blir hantverksmässigt emaljerade blir järn och stål nästan uteslutande industriellt emaljerat.

Ämnen, d.v.s. grundämnen och föreningar av grundämnen, finns i tre former: fast form, flytande form och gasform. Vilken form ett ämne har beror på temperatur och tryck. Vid rumstemperatur är järn i fast form. Järnatomerna är fast bundna till varandra och placerade med jämnt avstånd till varandra. De sitter i ett mönster som upprepar sig över stora områden. När materialet är organiserat så är det ett kristallint⁶ material. Rent järn kallas ferrit. Värmer man järnet utvidgar materialet sig men behåller sin struktur tills man når smältpunkten 1535°C. Atomerna blir då fria att röra sig och det finns inte längre någon kristallin struktur. Kyler man smältan inordnar sig alla atomerna på nytt i en ferritisk kristallstruktur vid 1535°C (Bonde-Wiiburg, 2000, p. 79; Flygt, 2005, pp. 13-17).

För att förstå hur glas, och därmed emalj, fungerar ser vi istället på ämnet kiseldioxid i form av kvarts som är ett mycket vanligt material i naturen. Atomerna är organiserade så att de bygger upp tetraederformer. I de fyra hörnen på tetraedern sitter det syreatomer och inne i mitten i tetraedern sitter en kiselatom. Tetraederna sitter sedan regelbundet kopplade till varandra så att de delar sidor med varandra. Det bildas ett regelbundet mönster med fasta avstånd över stora områden. Materialet är också kristallint, som ferriten, och kallas kvarts eller kristallin-kvarts. Värmer man materialet utvidgar det sig men behåller sin struktur, ända tills det når sin smältpunkt. Den kristallina kvartsen smälter helt vid denna punkt och inte över ett temperaturområde. När man sedan kyler smältan vill

⁶ Kristallina material har en ordnad struktur, så att avståndet mellan olika atomer och mönstret atomerna sitter i upprepas över stora områden (Varshneya, 2013, pp. 13-14).

atomerna inordna sig i strukturen igen. Organiseringsarbetet tar tid för kiseldioxid och därför går det att kyla ner materialet förbi smältpunkten och då är den smälta kiseldioxiden en underkyld vätska. Kiseldioxiden strävar fortfarande efter att kristallisera sig, att organisera sig regelmässigt i mönster, men kyls materialet vidare kommer det aldrig att kunna göra det, även om det går lång tid. Viskositeten är då så hög att materialet är i fast form och beter sig som ett fast material, och materialet kallas kvartsglas. Den stora skillnaden är att det inte har det välorganiserade mönstret över stora områden, med jämna avstånd mellan atomerna. En ytterligare och avgörande skillnad är när man värmer materialet på nytt, kommer det inte att utvidga sig jämnt och alla atomer behålla sina positioner. Materialet kommer över ett temperaturområde mjukna mer och mer och atomerna bli mer och mer rörliga i förhållande till varandra tills det är helt flytande. Detta område kallas glastransformationsområde och har en helt avgörande betydelse för glasets användbarhet och är ett kriterium i definitionen av ett glas. (Flygt, 2005, pp. 13-22; Shelby, 2005, pp. 3-6). Shelby har följande definition av glas: ”ett amorft⁷ fast material, helt utan upprepande atomär struktur över större sträckor och som har ett område med glastransformationbeteende” (Shelby, 2005, p. 3).

Kiseldioxid är inte det enda ämne som kan bilda glas, men det är det absolut vanligaste och mest använda ämnet. Andra ämnen som bildar glas är boroxid och fosforoxid. Ämnen som bildar glas kallas för glasbildare och är den viktigaste huvudkomponenten i glas och följaktligen i emalj. Det finns fler ämnen som det är möjligt att bilda glas av, men de är så ovanliga att de ej behandlas här. Även om glasbildarna kan användas som glas i sig själva, är i princip allt glas modifierat med andra ämnen. All emalj är modifierad för att passa sitt ändamål. Både boroxid och kiseldioxid har höga smälttemperaturer så för att sänka smälttemperaturen och ändra viskositeten så tillsätts ämnen som kallas flussmedel eller nätverksuppbrytande oxider. Alkalimetallerna natrium, kalium och litium i form av oxider är det som används. Natriumoxid är det mest använda flussmedlet och tillsätts i form av soda: natriumkarbonat. Alkalioxiderna verkar flussande genom att de bryter kiselsyrebindningarna i nätverket. När länkar i nätverket bryts blir massan mer lättflytande. Den kemiska motståndskraften blir också mindre och vid höga halter blir glaset vattenlösligt. En tredje huvudkomponent i glasmassan kallas nätverksmodifierande oxider eller nätverksstabiliserande ämnen. De binder till öppna kiselsyrabindningar, och det är ämnen som kalciumoxid, bariumoxid och blyoxid. Ämnen tillsätt också av andra

⁷ Amorft översätts bäst till icke kristallint material. Det betyder att det inte har ett atommönster som upprepas över större områden (Flygt, 2005, p. 15).

anledningar som tillsatsmedel, för att färga, avfärga, få gasblåsor att stiga till ytan eller göra glaset ogenomskinligt. Dessa tillsatser görs i småmängder (Flygt, 2005, pp. 17-43).

2.3 Emaljsammansättningar

Även om emalj i grunden är glas är det en del tydliga skillnader mellan dem. Glas innehåller vanligen mindre än sju kemiska komponenter medan en emalj innehåller mer än sju kemiska komponenter. Emaljerna kan innehålla upp till femton olika kemiska komponenter. Detta innebär att en emalj är betydligt mer komplex än ett vanligt glas. När emaljen är bränd på stålytan är det en del tydliga skillnader gentemot glas. Det finns till exempel gasfyllda bubblor i emaljskiktet, och metalljoner från grundmetallen som har diffunderat in i emaljskiktet. Emaljens sammansättning anpassas för både den metall den ska användas på men också för produktens användningsområde och appliceringsmetoden för emaljen. Därför finns det en mängd olika emaljsammansättningar. Emaljens kemiska sammansättning och fysiska uppbyggnad ändrar sig under bränningen och är därför inte den samma i emaljfrittan⁸ som i emaljskiktet (Andrews et al., 2011, pp. 293-298; Maskall & White, 1986, pp. 10-13 18-24).

2.4 Hur fäster emalj på stål

Att emaljen fäster på den underliggande metallen och förblir ett jämnt skikt under föremålets användningstid är helt avgörande. Att emaljen ska binda till metallen och följa metallen när den rör sig är det som gör att emaljerna är mer komplicerade än vanliga glas. En bra vidhäftning till stålet är det när själva emaljskiktet brister och inte bindningen till stålet. Då förblir metallytan täckt med emalj trots att det har brustit och emaljskiktet är fullt av sprickor. En dålig vidhäftning är det när emaljskiktet lossnar i flak och lämnar metallytan fri från emaljrester.

Det finns inte en allmänt accepterad förklaring av hur emalj binder till stålunderlaget, trots mycket forskning på området. Man är dock överens om att koboltoxid är det viktigaste materialet för att få emaljen att fästa till stålet. Det används mellan 0,15 och 0,5 % koboltoxid i grundemaljen för att skapa bindningen. Nickeloxid har också en bindande effekt men mindre än koboltoxiden. Det verkar finnas ett antal olika mekanismer som bidrar till att skapa vidhäftning och vilka mekanismer som bidrar kan variera från fall till

⁸ Fritta är malet glas och emaljfritta är mald emalj.

fall (Andrews et al., 2011, pp. 500-501; Eppler & Eppler, 2000, pp. 49-50; Maskall & White, 1986, pp. 98-100; Petzold & Pöschmann, 1987, pp. 58-76,81-82).

Andrews et al (2011) som är den nyaste källan delar upp teorierna i sex kategorier.

1. Elektrolytisk teori där man antar att metaller i emaljen blir pläterade på stålytan. De pläterade metallerna skapar därmed bindningen.
2. Järnoxidteorin där man antar att en mätnad av järnoxid på både stålytan och i det angränsande emaljskiktet skapar en kontinuerlig elektronisk struktur och en kontinuerlig atomär struktur från metallen och in i emaljskiktet. Det är då viktigt att metallen inte reducerar oxiderna i emaljen. Detta oxidlager bildar ett övergångsskikt som både metallen och emaljen binder till. När emaljen smälter är metallytan täckt med ett oxidskikt. Detta oxidskikt angrips av emaljen och löses upp. På grund av jämvikt vill detta oxidskikt diffundera vidare in i emaljskiktet. Här spelar bindoxiderna en viktig roll. De reagerar med järnet och ger ifrån sig sitt syre så att övergångsskiktet förblir mättat med järnoxid. Eppler & Eppler (2000) skriver att detta är den avgörande mekanismen till vidhäftningen (Andrews et al., 2011, p. 501; Eppler & Eppler, 2000, pp. 231-238; Maskall & White, 1986, pp. 98-99).
3. Vätereduktionsteorin som menar att koboltoxiden blir reducerat till metallisk kobolt av vätet. Vätet finns i flera former både i emaljen och löst i metallen. Vätet förhindrar god kontakt mellan emalj och stål och därför är det viktigt att få det bort. Andrews et al (2011) tar denna teori tillsammans med atomattraktionsteorin som de mest sannolika förklaringsmekanismerna (Andrews et al., 2011, pp. 501-505).
4. Mekanisk bindningsteori som menar att vidhäftningen grundas i mekanisk låsning mellan metallen och oxidskiktet. Förutom de ojämnheter och strukturer som finns på metallytan före emaljeringen, så sker det processer under bränningen som skapar mer ojämnheter. Dels sker det när emaljen smält till ett sammanhängande skikt ett kemiskt angrepp av metallytan. Metallen oxideras och det sker inte jämnt utan djupa gropar bildas. Dessutom skapas dendriter på ytan. Det är långsträckta metalliska armar som växer kristall likt ut från metallytan. Koboltoxiden spelar här en viktig roll. Mekanismen fungerar på grund av att materialen bildar galvaniska celler. Först skapas plätering, och pläteringen fortsätter sedan och skapar dendriterna. Eppler & Eppler (2000) menar att mekanisk bindning har liten betydelse medan Maskall & White (1986) ger mekanismen mycket större betydelse (Andrews et al., 2011, pp. 501-505; Eppler & Eppler, 2000, pp. 231-238; Maskall & White, 1986, pp. 98-100).

5. Dendritteorin skulle jag placerat som en del av den mekaniska bindningen, men Andrews et al (2011) tar den upp som en egen kategori. Teorin tar utgångspunkt i att det skapas metalliska dendriter som växer från metallytan och in i emaljskiktet och förankrar emaljen till stålet (Andrews et al., 2011, p. 502; Eppler & Eppler, 2000, pp. 236-237).
6. Atomattraktionsteorin menar att alla glas som innehåller tillräckligt mycket oxider av den metallen som glaset läggs på, kommer att binda till metallen. Andrews et al (2011) skriver att metalloxiden ska ha lägsta valens, men exakt vad som menas med det har jag inte kunnat reda ut. Jag antar att det menas att metallen är så långt oxiderad som den naturligt blir i en oxiderande miljö. Teorin verkar vara en mer allmän teori och omfattar järnoxidteorin som jag ser det (Andrews et al., 2011, pp. 502-503).

2.5 Ståltyper för emalj

Olika metaller och olika legeringar kräver emaljer som är anpassade för grundmetallen. Men även om anpassningar kan göras i emaljen fungerar vissa ståltyper bättre än andra. Vissa stålsorter är omöjliga att emaljera. Stål i form av gjutjärn är inte smidbart och tas därför inte med i texten.

Tidigare var huvudtypen av valsat stål för emaljering tillverkat som otätat stål, rimmed steel på engelska. Det stålet har ett mycket rent ytskikt då legeringsämnen och föroreningar samlas i mitten. Det tillverkas i princip inte längre därför att allt vanligt stål idag, produceras som kontinuerligt gjutet stål. För att ett stål ska vara lämpligt för emaljering, ställs i industrin inte bara krav om att emaljen ska sitta bra på stålet och utan fel, men också att stålet ska fungera för djupdragning och fungera bra i syrabaden.

Kolhalten i stålet har betydelse för en del problem med emaljering. Järnkarbid som löses upp i syrabadet kan fällas ut som flak på stålytan. När emaljen sedan bränns på ytan löses järnkarbiden upp av emaljen och ger svarta fläckar. Kolet i stålet kan också oxideras till CO och CO₂ som i gasform pressar sig igenom emaljskiktet, med påföljande fel. Den typen fel kallas på engelska för "carbon boil" (Maskall & White, 1986, pp. 50-60; Norinder & Svahn, 1965, pp. 220-221).

Stålets manganhalt har också betydelse för emaljeringsegenskaperna. Ett bra stål för emaljering har både låg kolhalt och låg manganhalt. Det första stålet som tillverkades specifikt för emaljering med låg mangan och kolhalt var Armco stålet. Men låg manganhalt

ger problem med varmskörhet. Mellan 927°C och 1038°C är stålet skört och kan till exempel inte valsas vid de temperaturerna (Andrews et al., 2011, pp. 141-144).

Stål har egenskapen att reducera vatten i emaljen till väte. Det vätet skapar sedan problem med vidhäftningen av emaljen. Problemet hänger också samman med att atomärt väte och väte joner kan passera genom stålet men det kan inte vätgas i form av H₂. Vid de temperaturer som stålet håller under bränningen kan det lösa stora mängder väte men när temperaturen sjunker minskar lösligheten och överskottsväte drivs ut. Om ena sidan av en stålplåt är oemaljerad kan vätet försvinna ut den vägen. Men speciellt om båda sidor är täckta med emalj samlas vätet under emaljskiktet i de blåsor och hålrum som finns. Där förenar sig vätet till vätgas, H₂ och den gasen kan inte ta sig igenom stålet. När gastrycket blir tillräckligt högt spränger det loss emaljskiktet. Dessa skador kallas ”fishscaling” på engelska. Problemen kan uppkomma direkt efter avkylning eller timmar eller dagar efter emaljering. Problemet har inte bara en källa men vätet kan komma från vatten i emaljen, vatten i ugnsatmosfären men i förhållande till stålet är det intressant därför att problemet variera mycket med ståltyp. Kallvalsade stål har mindre problem med fishscaling och det är antagit att det beror på att stålet har en öppnare struktur som gör det lättare för vätet att försvinna (Andrews et al., 2011, pp. 693-695; Maskall & White, 1986, pp. 57-59).

Det stål som tillverkas idag kan delas in i sex kategorier.

1. Lågkolstål som tillverkas genom aluminium tätning. Aluminium tillsatt i smältan för att omvandla järnoxiden tillmetalliskt järn. Stålen innehåller mellan 0,02 och 0,04 % kol och en manganhalt på 0,15 till 0,30 %. Stålen fungerar bra för emaljering
2. Avkolade stål eller på engelska decarburized steels. Stålen är aluminiumtätade som lågkolstålen men de är efter valsning rullade i öppna rullar med distansmaterial mellan lagren. Rullarna är därefter behandlade i ugnar med avkolande gaser till nästan allt kol är borta ur stålet. Kolhalten är då ca 0,005 % och emaljeringsegenskaperna är mycket goda. Stålet kan användas för emaljering utan grundemalj. Den mycket låga kolhalten eliminerar en mängd problem.
3. Interstitial fria stål har en kolhalt på mellan 0,001 och 0,020 % kol. Men kolet är bundet i stålet med hjälp av titan och niob. Dessa ämnen binder sig till kolet i stålet och låser det i stålet. På grund av titanen kan det krävas anpassningar av grundemaljen. Stålen har mycket bra djupdragningsegenskaper.
4. Titan stabiliserade stål liknar de interstitial fria stålen men har högre kolhalt och är därför stabilare under bränning. Stålen är inte vakuum renade som interstitial fria stålen ofta är.

5. Standard kallvalsat stål innehåller mellan 0,04 och 0,07% kol och 0,25 till 0,04 % mangan. De kan bara användas med grundemalj och bör bara användas till föremål där utseendet inte är avgörande. Dels på grund av fel i emaljskiktet av kol och för att plåten slår sig under bränning. Det är rekommenderat att endast emaljera ena sidan på grund av fishscaling där väte spränger loss bitar av emaljen.
6. Standard varmvalsat stål har hög risk för fishscaling. Framförallt om båda sidor emaljeras. Varmvalsade stål används bara i industrin när det är nödvändigt på grund av styrkan. För till exempel varmvattentankar. Lämpligheten för emaljering betraktas som dålig (Andrews et al., 2011, pp. 145-150; Maskall & White, 1986, pp. 50-60).

2.6 Preparering av underlaget

I normal industriell emaljering kommer föremålen från tillverkningen ofta infettade med olja, eller är rostiga. Detta måste rengöras för att säkerställa så få emaljeringsfel som möjligt. Grader⁹ och skarpa stålkanter måste också slipas bort för god vidhäftning. Sandblåsning ger den bästa grunden för emaljering. Produkter i stålplåt rensas från olja, rost och glödskalet¹⁰ genom ett antal olika processer. Plåten kan värmas tills den är rödglödande. Då bränns alla organiska ämnen bort från ytan. Dock måste stálytan därefter rensas från glödskalet som bildas. En variant är blankglödning, bright annealing på engelska, där plåten värms upp i en ugn med reducerande atmosfär. Då bränns det organiska materialet bort utan att glödskalet bildas. Plåten kan också rengöras kemiskt med lösningsmedel eller alkaliska, förtvålade rengöringsmedel. Rost och glödskalet avlägsnas vanligen i syrabad med svavelsyra eller saltsyra. Tunnare plåtprodukter kan inte blästras eftersom de deformeras. Grövre plåtprodukter, gjutna produkter och rostfria stål blästras lämpligen (Andrews et al., 2011). För produkter tillverkade genom varmsmide är olja eller fettförorenad yta inte direkt något problem eftersom ytorna blir glödda i arbetsprocessen. Men om inte alla stálytor är glödda därför att de har kvar sin ursprungsdimension kan en oljeförorenad yta vara ett problem. Vid smide med stenkol kan också delar av ytan få en

⁹ Grader är tunna metall remsor som sitter på kanten av stålbitar. De bildas till exempel under slipning och klippning av metall (Bonde-Wiiburg, 2000, pp. 434-436).

¹⁰ Glödskalet är det oxidiskalet som bildas på järn ytan när det värms i oxiderande atmosfär (Bonde-Wiiburg, 2000, p. 399).

stenkolstjärbeläggning. I en smedja är det dock enkelt att glödga alla ytor som ska emaljeras så inga kemiska bad behövs.

2.7 Färger i emaljen

Färgen på emaljskiktet har i de flesta fall mycket stor betydelse, eftersom man i de flesta fall med emaljeringen önskar att ge grundmetallen ett annat visuellt utseende. Färgen på emaljskikt som läggs på insidan av kemiska tankar och liknande har i stort sett ingen betydelse. Eftersom emaljen smälts på stålytan vid relativt höga temperaturer och glasmassan är kemiskt reaktiv när den är smält, så är det ganska begränsat vilka ämnen som kan användas för att pigmentera emaljen. I jämförelse med färg till vanligt glas så ställer emaljen högre krav på färgintensitet eftersom emaljskiktet är så tunt, speciellt där det är tryckta emaljdekaler. Grundläggande finns det tre metoder för att färga emaljen.

Första metoden använder vissa övergångsmetaller tillsatta direkt i glasmassan. Pigmenten löser sig under bränningen i glasmassan. Metoden är svår att använda för den ger dålig färgstyrka och det är svårt att kontrollera färgen.

Andra metoden är att skapa utfällningar av kristaller i emaljens grundglas. Vissa oxider av till exempel titan och zirkon är lösliga i avsevärd mängd när emaljen är smält, men när temperaturen faller minskar lösligheten av oxiderna i glasmassan och kristaller faller ut. Dessa kristaller bryter ljuset och gör emaljskiktet opakt¹¹. Titanoxid ger emaljen ett kraftigt vitt och opakt utseende. Men det är svårt att kontrollera färgerna när andra än vit önskas och metoden används därför sällan till annat än vit (Andrews et al., 2011, pp. 97-100; Eppler & Eppler, 2000, pp. 127-130).

Tredje metoden är att tillsätta olösliga eller färgade kristaller i emaljen. Detta är den vanligaste metoden för att färga emaljen. Oxider är mer stabila än andra ämnen och därför används oxider för färgningen av emaljen. Det största undantaget är kadmiumselenid och sulfiderna som är både giftiga och mindre stabila än oxider. Men de används därför att de färgerna som är möjliga att få till inte går att få med andra pigment. En del av pigmenten fungerar så att oxiderna själva bildar färgade kristaller medan andra smälts in i en värdkristall och påverkar den så att den blir färgad. Dessa dopade¹² pigment fungerar på lite olika vis. De enklaste pigmenten har övergångsmetaller som ger färger i sig själva.

¹¹ Opakt betyder ogenomskinligt.

¹² Dopningen av ämnen är en process där man tillsätter andra ämnen för att påverka strukturen i ämnet och därmed dess egenskaper. Det kan göras för att till exempel påverka elektriska eller optiska egenskaper (Dopning (fysik), 2016).

Medan andra förvränger kristallstrukturen så att nya färger uppkommer. Som ett exempel kan ett grönt kromjärnpigment ändras till röd i ett aluminiumoxidnätverk. Pigment kan också smältas in i värdkristaller för att skydda de mot nedbrytning och angrepp från grundglaset i emaljen vid höga temperaturer eller kapsla in de så att läcker giftiga ämnen. Som exempel kan kadmumpigmenten smältas in i genomskinligt zirkonglas (Eppler & Eppler, 2000, pp. 127-130,171-172).

2.8 Tillverkning av emalj

Tidigare tillverkade många emaljerings industrier sin egen emalj men idag köper de flesta färdig emaljfritta och emalj från större producenter som bara tillverkar emalj. Det tillsammans med en noggrannare kontroll över råmaterialen gör att emaljen är jämnare i kvalitet över lag. Tillverkningen startar med uppvägning av råmaterialen till en sats. En del av tillsatserna tillsätts i mycket små mängder vilket kräver noggrann mätutrustning. Efter noggrann blandning tappas satsen i en ugn där materialet smälts. När smältprocesserna är färdiga tappas emaljen och kyls. Efter kylning mals emaljen till önskad grovlek.

En jämn blandning av emaljmassan före smältning ger snabbare smältning och jämnare emaljmassa vid tappningen. De ämnen som smälter först angriper de mer svårsmälta ämnena. Om materialet är dåligt blandat så får inte de lättsmältande ämnena chans att lösa upp de svårsmälta ämnena och mer av de lättsmälta ämnena kommer att försvinna med gaserna som utvecklas i smältan. Därmed får emaljen en annan sammansättning. Det är inte heller så enkelt att uppnå en homogen blandning efter smältningen eftersom emaljen är mer eller mindre trögflytande.

Processerna som sker undersmältningen är dels många och komplicerade och det är därför inte helt känt exakt fysiskt och kemiskt hur allt föregår. Men i satsen finns det ämnen som lätt förgasas, några smälter lätt, andra bryts ner och bildar nya ämnen andra är svårsmälta och måste lösas upp av de mer lättsmälta. Hur processen föregår beror också på hur snabbt den blir uppvärmd, hur väl den är blandad och hur den värms. Vanligtvis smälter lättsmälta material först på ytan och dessa skapar ett lock över smältan som hindrar de ämnen som lätt förgasas att försvinna. Det sker en stor frigöring av vatten ånga och en del koldioxid samt andra ämnen. Denna gasutveckling har en viktig betydelse för den rör om i materialet under smältprocessen. Om emaljen smälts med förbränning av olika kolväten så skyddar gasutvecklingen emaljen från förorening av ämnen från rökgaserna. Den skapar ett gaslock över emaljen.

Grundemaljerna smälts vanligen tills de är helt fria från gasbubblor men de får inte värmas för mycket eller för länge heller. Om emaljerna värms för mycket blir de sköra och svårsmälta. Det krävs vanligtvis att ugnsatmosfären är oxiderande för att inte olika oxider ska reduceras. Reduceras ämnena förlorar emaljen färg och blir fläckig. Den kan också bli fläckig av damm och föroreningar från brännarna.

När emaljen är klar tappas den ur ugnen och kyls. Vanligtvis kyls den i vatten för att kyla den så snabbt att den spricker i småbitar av de termiska spänningarna. De görs för att underlätta malningen. Kyls emaljen långsamt får man hårda klumpar som kräver mycket malning. En utdragen malning kostar inte bara tid och pengar utan förorenar emaljen också mer. Emaljen sliter på kvarndelarna och material från kvarnen kommer med i emaljfrittan. En effektiv metod är att tappa av emaljen i en vals med två vattenkylda stålvalsar. Då kommer emaljen ut som tunna flack och hela emaljen är genomsprängd med sprickor och emaljen går snabbt att mala till önskad grovlek.

Emalj för ädelmetaller, provserier och andra som tillverkas i liten skala smälts i degelugnar. Deglarna tillverkas med en hög andel aluminiumoxid, det gäller för alla material som kommer i kontakt med smältemalj. Degelugnarna har dock dålig verkningsgrad och därför smält emalj som tillverkas i större skala i vannor där emaljmassan ligger i botten av ugnen som i en bassäng. Brännarna har sina lågor in genom ena väggen. Det finns också kontinuerliga ugnar där emaljen rasar och rinner genom ugnen medan den smälts. Emaljen fylls och tappas då kontinuerligt i ugnen (Andrews et al., 2011, pp. 360-388).

2.9 Applicering av emalj

En emalj avsedd för våt applicering består av flera olika fasta faser i en flytande fas. De fasta faserna finns i vätskan som partiklar som kan variera i storlek från kolloidala¹³ till siktgrovlek 40¹⁴. De fasta faserna kan innehålla olika frittor, lera, opasifierare och färgande oxider. Vätskan innehåller vanligen vatten, organiska konsistensgivare och hjälpämnen, samt även elektrolyter så som salter, syror och alkalier (Andrews et al., 2011, pp. 423-424).

¹³ Kolloida ämnen är i partiklar som är mycket små. Mellan en milliondels och en tio tusendels millimeter. Kolloidala partiklar kan vanligtvis bara ses med elektronmikroskop (Ore, 2009).

¹⁴ Siktgrovlek är standardiserad i internationell standard, ISO 565:1990 och ISO 3310-1:2000 och i amerikanska standarder. Siktgrovlek 40 (mesh 40) har öppningar i siktduken på 0,425mm och partiklar mindre än det kan komma igenom duken (Mesh (scale), 2016).

I emalj som appliceras vått används olika ämnen för att hålla de fasta kornen lösta i vätskan, så att de inte faller till botten i behållaren. Ämnen som används är lera, kolloidalt kisel, organiska ämnen så som gummi och slutligen en del ämnen som påverkar kemiskt. Lerans egenskaper har stor betydelse för hur den fungerar i emaljen. Generellt bör leran ha hög plasticitet, vara fri från järn, lösliga salter och organiska ämnen. Emaljen bör tillsättas så lite lera som möjligt därför att den höjer smälttemperaturen på emaljen och kan göra färdigbränd emalj grumlig. För hög lerhalt kan också leda till att det torkade emaljskiktet spricker. För låg lerhalt gör dock att det torkade emaljskiktet inte tål hantering före bränning. Organiska ämnen så som gummi arabicum används mest till specialemaljer. Till exempel emaljer för skyltmålning där det ger ett tåligare torkat emaljskikt (Andrews et al., 2011, pp. 424-425).

För industriell våtemaljering är det viktigt att styra och kontrollera emaljslippens konsistens. Emaljslippen beter sig varken som en vätska eller som ett fast ämne utan som ett mellanting (Andrews et al., 2011, pp. 428-444).

Appliceringstekniken har väldigt stor betydelse för slutresultatet. Generell gäller att emalj ska läggas på jämnt och så tunt som möjligt samtidigt som ytan blir täckt. För tjocka lager ger större spänningar i materialet och det leder till att emaljen spricker och faller av. Tjocka lager ger också mattare yta och kräver mer värmearbete för att smälta ut till ett jämnt skikt (Andrews et al., 2011, s444). Detta gäller specifikt om man önskar ett jämnt helt och i industriellt sammanhang perfekt resultat.

I industriella sammanhang görs appliceringen av emalj huvudsakligen vått. För enklare objekt görs det genom att doppa objekten i ett bad med emaljslipp. Detta görs i stor skala oftast helt automatiserat. För att det ska ge bra resultat krävs det mycket utprovningar och en exakt kontroll över emaljslippens egenskaper. Detta för att emaljen ska lägga sig i ett jämnt och lagom tjockt skikt över hela föremålet. Vid hantverksmässig doppning krävs inte någon större utprovning av doppningsprocessen. Ett alternativ till doppning är att hålla emaljen över föremålet. Emaljslippen fäster sig till ytan på grund av adhesion¹⁵. Detta görs i industrin genom att föremålen åker på en transportbana genom emaljstationen och där rinner emaljen som en ridå över föremålen. Men föremålen kan också hanteras manuellt i emaljridån. Typiska föremål som blir emaljerade med denna metod är ugnsrör, grytor och andra köksredskap. Båda dessa metoder kräver stora volymer emalj i processen för att fylla

¹⁵ Adhesion: är den molekylära vidhäftningen mellan två olika kroppar. Den gör att till exempel vattendroppar hänger fast på glasrutor. Adhesion är inte det samma som friktion. Om kropparna är lika kallas det kohesion (Adhesion, 2016).

dopplingskar. Emaljslippen måste också renas och pumpas runt kontinuerligt. Så den lämpar sig bra till helautomatiserade stora serier med enkla föremål. Den stora fördelen med doppling och hållning är att det är små förluster av emalj. Spillemaljen rinner direkt ner i badet igen. Doppemaljering och applicering genom hållning ger tjockare emaljskikt än sprutapplicering (Andrews et al., 2011, pp. 444-454; Eppler & Eppler, 2000, pp. 188-192; Petzold & Pöschmann, 1987, pp. 224-226 229-233).

Våt emaljslipp kan också sprutas på föremålen med ett antal olika sprutor. Emaljen kan matas i in med en överliggande behållare eller sugas upp från en underliggande behållare. För större mängder matas emaljen i en slang fram till sprutan från en stor behållare. Alla är dock tämligen lika när det gäller resultat och hur själva sprutan fungerar. Alla använder tryckluft för att finfördela emaljen och spruta den på föremålen. Sprutorna kan styras både manuellt för hand av människor eller med robotar. Vid sprutapplicering blir det mer eller mindre sprutdimma och en del av sprutstrålen missa föremålen. Mängden varierar med olika sprutor, skicket på sprutan och skickligheten hos den som hanterar den. Men det blir alltid en viss mängd spill vilket kräver insamling och filtrering. Detta görs vanligtvis i sprut bås eller sprut rum med filtrering av luften. I industriella sammanhang blir spillemaljen insamlad och återanvänd. För speciella emaljer och framförallt för stora och komplicerade föremål kan våt emalj även appliceras med pensel (Andrews et al., 2011, s. 444-454, Petzold, 1987, s. 226-229, 233)(Eppler & Eppler, 2000, pp. 189-191).

Våt emalj kan också sprutas med elektrostatiske laddning. Då laddas de utströmmande emaljpartiklarna upp med en elektrostatiske laddning i storleksskalan 150,000 volt. Föremålen som ska emaljas laddas med en motsatt laddning. Då dras emaljen mot föremålen och en viss utjämnings-effekt sker för att emaljen dras mot lediga platser på föremålens yta. Ytor som redan är täckta med emalj drar inte till sig emalj längre medan de som saknar emalj fortfarande drar till sig emalj. Metoden ger effektivare utnyttjande av emaljen men den tekniska utrustningen är dyrare och kräver arbete med säkerheten på grund av de höga spänningarna (Andrews et al., 2011, s. 444-454).

Emalj kan också appliceras torr och då med två metoder. Antingen genom siktning på varma föremål eller med elektrostatiske sprutning. Siktning på varma föremål används på gjutjärnsföremål, så som badkar och kemibehållare. Först värms föremålen i en ugn. Därefter lyfts de ut med tång och blir därefter hanterade antingen för hand med tång eller i en maskin. De roteras så att alla ytor, som ska emaljas, har passerat ett horisontellt läge. När ytorna är i horisontellt läge siktas emalj över ytan med en sikt som hanteras av en person. Vanligtvis arbetar två personer tillsammans. En som håller föremålet och roterar det och en som siktar. I industrin används siktar som på engelska kallas *dredge*. De har en

rund siktram med en diameter på ca tio tum eller 25,4cm. Siktduken är med grovleken 60 till 100 mesh. Skaftet är omkring 1,5m långt. Sikten är utrustad med en skakare antingen en elektiskt driven eller tryckluftsdreven eller en stålring som man slå mot siktens skaft för att vibrera ut emaljen. När den torra emaljen träffar den varma stålytan smälter emaljen så mycket att den fastnar men inte mer. Efter att föremålet kallnat så mycket att det inte längre fastnar emalj på ytan måste det värmas upp på nytt i ugnen. Efter uppvärmning kan mer emalj siktas på ytan. När ett tillräckligt tjockt skikt är uppnått blir föremålet satt in i ugn för att emaljen ska smälta ut till ett sammanhängande skikt. Eftersom emaljpulvret inte ska blida en slipp som ska våtappliceras kan lera och andra hjälpämnen utelämnas. Detta ger slätare och mer hög glänsande emalj (Andrews et al., 2011, s454-455) (Petzold, 1987, s233-234)(Eppler & Eppler, 2000, pp. 194-195; Petzold & Pöschmann, 1987, pp. 233-234).

Vid elektrostatisk sprutning med torr emalj blir emaljpulvret uppladdat i sprutan och dras mot föremålen som är jordade. Denna metod började användas i mitten på 1970-talet. Den höga statiska laddningen i sprutan laddar inte bara upp emaljpartiklarna utan också syrgasmolekyler i luften. De laddade syrgasmolekylerna laddar även upp emaljpartiklarna ytterligare efter att de har lämnat sprutan. Emaljpartiklarna följer de elektriska fältlinjerna mot föremålet, syrgasmolekylerna följer också fältlinjerna och drar med sig emaljpartiklarna. Så länge emaljpartiklarna har en hög resistans behåller de sin attraktionskraft mot föremålet. Detta ger också en utjämningsseffekt på emaljskiktet. När det blir tjockare, efterhand som man sprutar på mer, avtar attraktionskraften och till sist blir den obefintlig eller omvänd. Metoden har också svårigheter med effekten av Faradays bur där elektriska laddningar fördelar sig ytterst på föremål. Det blir då svårt att få emaljen att täcka invändiga ytor och konkava ytor (Andrews et al., 2011, s457-476)(Eppler & Eppler, 2000, pp. 194-195).

I princip blir alla produkter i stålplåt grundemaljerade med doppning eller hällning i industrin idag. Detta görs direkt efter rengöringen av föremålen. Efter avrinning blir föremålen placerade på hyllor med stålpinnar för att torka. Stålpinnarna minimerar kontaktytan och skadorna på emaljskiktet samt ger god torkning (Andrews et al., 2011, s455). Våt täckemalj för gjutjärn sprutas alltid på. Föremål med de finaste vita emaljerna blir alltid först emaljerade med grundemalj men många andra föremål blir emaljerade utan grundemalj. Grundemaljen till gjutjärn blir däremot ofta hälld eller doppad på föremålet men sprutning är också vanlig. Gjutjärn blir också torremaljerad med siktning i princip som med stålplåt (Andrews et al., 2011, s479-480)

Efter applicering av ett eller flera emaljskikt med våta metoder, måste föremålet torka innan bränning. Torkning i fri luft är fullt möjlig men tar mycket plats i industriella sammanhang eftersom det tar lång tid. Den långa tiden det tar gör också att stålytan hinner rosta vilket kan leda till rostfläckar i emaljskiktet. Ytan kan också förorenas av damm som hinner lägga sig på emaljen innan bränning. Torkning i brännugnen fungerar inte. Dels därför att det torkar alldeles för fort och emaljskiktet spricker, vilket leder till sprickor eller linjer i det färdiga emaljskiktet. Men också därför att det frigörs vatten i ugnsatmosfären som leder till blanka emaljer blir matt och får blåsor. Emaljen torkas med varm avfuktad luft som cirkuleras och byts ut kontinuerligt. Två aspekter påverkar torkhastigheten: avdunstningshastigheten från ytan och diffunderingshastigheten i emaljskiktet. Om vattnet diffunderar långsamt genom emaljen eller torkas för häftigt kommer ytan att torka före bottenskiktet vilket leder till sprickor i emaljskiktet. I industriella sammanhang är tunneltorkar överlägset mest effektiva. Där transporteras föremålen på ett band genom en tunnel. Uppvärmningen sker gärna med spillvärme från brännugnarna eller infraröda värmare om man använder elektrisk energi. Torkningen sker vanligen vid temperaturer mellan 90°C och 200°C. Då torkar emaljskiktet på mellan tre och fyra minuter (Andrews et al., 2011, s480-482).

2.10 Dekorerings

När det gäller att skapa flerfärgade ytor, med grafiska eller styrda mönster, är borstning efter schabloner den mest använda och välfungerande metoden. Hela objektet täcks med ny emalj, som får torka. Efter torkning och före bränning borstas emaljen bort från de ytor där den underliggande emaljen ska synas. Detta kan göras på fri hand som med kanter på kärl och liknade eller med schabloner som vid tillverkning av klassiska skyltar. Arbetet görs i princip uteslutande för hand. Schablonerna tillverkas i zink eller mässingsplåt om de ska användas ett flertal gånger. De kan tillverkas i kraftigt papper om de ska användas en gång. Om mönstret innehåller fria öar som t.ex. bokstäverna A, O, och P måste bryggor användas. Bryggorna är bitar av schablonen som egentligen inte skulle vara där men som sparas för att hålla andra delar på plats. För att sedan ta bort bryggorna behövs en ny schablon där bryggorna sitter på andra ställen. Metoden kräver skickliga hantverkare och bra emalj. Emaljskiktet får inte torka så att den blir spröd och vill lossna från den underliggande emaljen i flak. Emaljen måste vara hård nog att tåla behandlingen men mjuk nog för att borstas rent från ytan. Vanligtvis är det lera som ger den korrekta hårdheten men olika organiska ämnen kan också användas. Ämnen som används är gummi arabicum, tragant och dextrin. Schablonerna skärs vanligen ut med mejsel eller etsas fram. För att

skydda hantverkaren mot damm från emaljen används lämpligen sugbord där emaljen som borstas loss suges ner genom hål i bordet (Andrews et al., 2011, s482-484, Petzold, 1987, s243-244).

Andra metoder för att kontrollerat täcka mindre ytor och skapa mönster på ytan är screentryck, dekal, tryckning, lasermärkning och stänkmålning. Screentryckning ger möjlighet att bränna flera färger samtidigt och hög detaljnoggrannhet samtidigt som spillet som borstningen med schabloner genererade, undviks. Emaljen måste vara mycket fint riven och blandad med ett oljehaltigt material så att det blir en pasta. Emaljen måste också vara färgstark och mycket opak eftersom det tryckta skiktet är tunt. Dekaler används för att bränna in detaljrika bilder i emaljskiktet. Bilden eller trycket skapas först på ett överföringspapper därefter överförs de till den emaljyta där den ska sitta och blir slutligen bränd in i emaljytan. Dekalerna tillverkas av specialiserade företag som levererar dem till användarna. Trycket tillverkas vanligen med hjälp av silkscreentryck. Schablonen tillverkas med fotografiska metoder vilket ger stor detaljnoggrannhet. Mängden tryckt emalj i dekalen är starkt begränsad och för att få tillräckligt med färg i slutresultatet är tryckmediet fyllt med så mycket pigment som möjligt (sAndrews et al., 2011, pp. 485-486; Eppler & Eppler, 2000, pp. 206-207).

I mer konstnärliga sammanhang finns det ytterligare ett antal tekniker för att skapa dekoreringar, mönster och konstnärliga uttryck i emaljskiktet. Vanligtvis används de på koppar, silver eller andra ädelmetaller men de flesta kan användas på stål också. De tekniker där grundmetallen syns genom transparenta emaljskikt fungerar inte när man använder en grundemalj eftersom den är opak och mörkblå av koboltoxid. De helt kolfria stålen som interstitial fira stål och avkolade stål kan användas utan grundemalj (Ellis, 1997, p. 13).

Emaljen kan läggas i fält som är avgränsade med metall kanter. I plique a jour är det ingen metall i botten utan emaljen fyller hålrummet mellan metall delarna. Ljus kan då lysa igenom. I champléve är fälten etsade fram ur grundmetallen. Basse taille är en liknande teknik men fälten är skurna fram med skärande verktyg eller plastiskt formade genom smide. Den sista tekniken där metall avgränsar de olika emaljfälten är Cloisonné, där är det metalltrådar hårdlödda till ytan som skapar fälten (Untrachy, 1957, pp. 48-65).

Limoges kallas tekniken när olika emaljer färger, inte är avgränsade av metall utan kan läggas fritt och mer eller mindre flyta samman. Tekniken har fått sitt namn från staden Limoges i Frankrike och utvecklades under 1400-talet. Emaljen kan dock läggas på ytan på ett flertal olika sätt. Med lämpliga bindemedel kan den målas med pensel på ytan. Den kan

strös torr, läggas på våt med spatel och stänkas ut över ytan. Transparenta emaljer kan läggas över andra för att skapa djup och förändra färgerna. Precis som vid traditionell tillverkning av skyltar kan schabloner användas för att maskera fält. Men i konstnärliga sammanhang inte bara för att maskera det som ska vara kvar. Schabloner kan användas för att maskera de fält som inte ska emaljeras och så strös emaljpulver med en sikt över ytan (Untrachy, 1957, pp. 66-71,115-123).

Sgraffito är tekniskt sett en närbesläktad teknik till den traditionella skylttillverkningen. Ytan emaljerar här också med ett andra lager emalj i en avvikande färg och därefter avlägsnas emaljen från de ytor som ska ha den underliggande färgen när emaljpulvret är torrt. Men istället för att vara styrd av en schablon skapas mönstret med olika verktyg som skrapar bort det man vill ha bort. Det kan variera från relativt tunna linjer till hela fält (Untrachy, 1957, pp. 82-91).

Istället för att avlägsna den oönskade emaljen, finns det tekniker för att få det torra emaljpulvret att endast fästa sig till de önskade fälten. Först läggs ett bindemedel på ytan där emaljen är önskad. Det kan göras på fri hand med pensel eller överföras med tryckteknik. Torrt emaljpulver strös så över ytan men det fastnar endast på de ställen där bindemedlet finns (Untrachy, 1957, pp. 96-99,124-126).

Ytan kan också dekoreras med metallfolie som ”limmas” in mellan olika emaljskikt. Då alltid med transparenta emaljer över så att metallfolien syns (Untrachy, 1957, pp. 28-29).

2.11 Bränning av emalj

Sista steget i emaljeringsprocessen är att bränna emaljen. Det vill säga värma upp föremålet till så hög temperatur och länge nog för att emaljen ska smälta eller mjukna så mycket att emaljkornen flyter samman till ett slätt homogent skikt med god bindning till underlaget. Eftersom detta är det sista momentet är det extra viktigt att det går som tänkt för annars går ofta allt tidigare arbete och allt material till spillo. En bra bränning ställer fyra krav. För det första att korrekt tid och temperatur hålls för bränningen. För det andra att föremålet är understött under bränningen så att det inte deformeras när det är varmt. För det tredje att det är en jämn uppvärmning och avkyllning av föremålet. Sista kravet är att atmosfären i ugnen är fri från damm och att det är låga halter av vattenånga och svavel. Hur länge och hur varmt en emalj ska brännas beror dock på ett antal faktorer. Det som spelar in är så klart den kemiska sammansättningen av emaljen, men också hur den är mald och hur tjockt emaljskiktet är. Det beror också på föremålets tjocklek, vikt och hur mycket verktyg som följer med föremålet in i ugnen och som ska värmas upp. Slutligen beror det också på

ugnsens egenskaper. Hur snabbt den klarar att överföra värme till föremålet (Andrews et al., 2011, pp. 497-498).

Svavelgaser i ugnsatmosfären är direkt skadligt för emaljen. Halter helt nere i 0.002%, alltså 20ppm skadar emaljen. Svavlet reagerar med ämnen i emaljen och efter bränning drar de till sig vatten och ett karaktäristiskt vit skum bildas. Svavlet kan komma från emaljen eller framför allt från de förbränningsgaser som används för att värma upp emaljen (Andrews et al., 2011, pp. 498,508). Idag använder smeder i stor utsträckning stenkol som värmekälla till järnsmide. Men stenkol innehåller i varierande grad svavel och avger vid förbränning i ässjan svavelgaser. Det syns tydligt innan rökgaserna har antänts från nytt stenkol, då är röken gul. Träkol och koks innehåller inte svavel (Hundeshagen & Klingebiel, 1957, p. 47).

Vatten i ugnsatmosfären har även en skadlig verkan på emaljen. Vattnet kan komma från emaljen, inte minst om emaljen är dåligt torkad om den är våtapplicerad. Det kan också komma från förbränningsgaserna som används för att värma emaljen. Ugnsatmosfären bör inte ha högre daggpunkt¹⁶ än 4,4°C. Vatten i ger dålig glans i emaljen och små bitar av emaljen lossnar. Denna typ av fel kallas fishscaling på engelska och jag har inte hitta någon svensk benämning. Bitarna som lossnar på minner om fiskfjäll i utseendet. Grundemaljer med kobolt kräver i tillägg att atmosfären är oxiderande för att den ska binda till stålytan. Exakt varför det krävs är inte känt. Emaljer för torremaljering på gjutjärn är mindre känsliga för gaser i ugnsatmosfären och de kan brännas direkt i förbränningsgaser (Andrews et al., 2011, pp. 499-511).

Tidigare brändes emaljerade föremål huvudsakligen i muffelugnar. I en muffelugn är förbränningsgaserna helt skilda från det utrymme där föremålen värms. Detta för att inte skada emaljen. Typiskt finns det ett förbränningsrum under själva muffelkammaren. De varma förbränningsgaserna leds på sidan runt om kammaren och slutligen ut genom taket. På vägen avge gaserna värme till kammarväggarna och värmen leds genom väggarna och in till föremålen. Verkningsgraden blev dock relativt dålig eftersom de äldre muffelväggarna var tjocka och inte lede värmen effektivt. Idag använd främst kiselkarbid plattor till muffelkammaren, kiselkarbiden leder värmen mycket effektivare och plattorna kan vara tunna. Tillsammans med bättre isolationsmaterial ger det betydligt bättre verkningsgrad. Men för massproduktion är det en ineffektiv metod. Föremålen stoppas helt

¹⁶ Daggpunkt är den temperatur där vatten börjar kondensera antingen som dagg på ytor eller dimma i luften (Luftfuktighet, 2016).

kalla in i ugnen och tas ut vid fullvärme. När dörrarna öppnas så förlorar man mycket värme. Arbetsprocessen är också intermitterant så att arbetet står stilla medan föremålen bränns. För mindre serier och hantverksmässig produktion bränns emaljen i ugnar som muffelugnen men de värms elektiskt och då behövs ingen muffelkammare eftersom det inte är några förbrännings gaser.

När emalj bränns i större skala bränns det vanligen i tunnelugnar. Där hängs eller läggs föremålen på ett transportband som hela tiden rör sig genom ugnen. Därmed kan ugnen hela tiden matas med nya föremål och det fungerar bättre för massproduktion. Den varmaste delen av ugnen öppnas aldrig så att värmen förloras och de avsvalnande föremål avger sin värme till de föremål som är på väg in och därmed utnyttjas värmen bättre. Om ugnen värms genom förbränning av något kolväte så kan värmen i förbränningsgaserna utnyttjas bättre. Först värms den varmaste zonen av ugnen och efterhand som gaserna svalnar leds de så att de kan värma succesivt kallare delar av ugnen (Andrews et al., 2011, pp. 511-543).

2.12 Testning av emalj

För att kunna analysera vidhäftningen av emaljen till stålet och kunna jämföra olika prover behövs metoder för att testa vidhäftningen. Trots att mycket forskning är gjort på vidhäftning finns det ingen allmänt accepterad definition av vad som menas med vidhäftning. Det kan syfta till den faktiska kraften som verkar mellan emaljskiktet och stålet eller mängden emalj som sitter kvar på stålet efter att stålet har deformerats genom böjning eller vridning. Men det kan också syfta till emaljens förmåga att sitta kvar på stålet efter temperatur chock. Men gemensamt för alla är att de försöker mäta hur väl emaljen sitter på stålet och att ju mer emalj som sitter kvar på stålet efter en vidd behandling desto bättre vidhäftning har emaljen. En emalj som faller av i stora flak och lämnar stålet rent från emalj har dålig vidhäftning och en som lämnar ytan täck med fastsittande emaljskärvor har bra vidhäftning.

Den äldsta och enklaste metoden är att böja en provbit och jämföra hur emaljen lossnar. För att bättre kunna jämföra provbitar bör de standardiseras så att de är av samma typ och lika i tjocklek mm. Vanligtvis böjs proven så att emaljen som ska provas blir sträckt. Emaljen skiktet är då på den konvexa sidan. Metoden har sedan utvecklats i ett antal varianter där deformationen blir standardiserad med till exempel vikter som faller från bestämd höjd ner på provbitarna och deformerar de mot ett mothåll med hål i. Eller en vikt hängande i en pendel som slår mot provstycket. Som ett exempel har American Society for

Testing Materials har ett standardiserat test kallat ASTM C313-55. Hela testet är noga standardiserat och provbitarna deformeras i en hydraulisk press. Deformationen ska ta fem sekunder och trycke hållas i fem sekunder osv. Testmetoder som mer syftar till att mäta den kraft som binder emaljen mot underlaget fusionerar två stålbitar med emalj i mellan. Båda provbitarna täcks med emalj på vanligt vid och bränns när emaljen är smält och de gaser som ska ut är frigjorda så läggs bitarna samman med emaljskiktet mot varandra. Efter kontrollerad avsvälning mäts kraften som krävs för att dra isär bitarna. Men detta kan också göras på olika vis. Antingen ren dragspänning eller en kombination av drag och skjuvspänning (Andrews et al., 2011, pp. 614-670).

2.13 Tidigare arbeten på fältet

Emaljering på stål i industriella sammanhang finns det i stora mängder samt även litteratur och forskning på fältet. I mer hantverksmässig skala är emaljering utförd av mindre företag på skyltar och tidigare också på föremål som spannar och en del hushållsföremål. Många av de företagen betraktar sina erfarenheter och tysta kunskap som företagshemligheter. Det som emaljeras industriellt idag är i huvudsak fronter och ovpandlar till vitvaror, badkar, bakplåtar, insidor på ugnar och kemiska behållare på industriella ändamål. Kunskapen om emalj till detta projekt kommer huvudsakligen från det industriella fältet. När det gäller emaljering på hantverksmässigt smidda produkter där en typisk konstsmed emaljerar på i övrigt svarta smidesföremål så har jag funnit lite material. Thompson Enamel uppger i sin arbetsbok att en del smeder har önskat att arbeta med emalj på delar av sina objekt (Ellis, 1997, p. 14). Jag har dock inte klarat att hitta mer än en smed som har arbetat med emalj på delar av sina smides objekt. Det är Steven Carpenter i Norge som har gjort en del smycken med emalj på smidesjärn (Carpenter, 2016).

2.14 Sammanfattning av källorna i litteraturöversikten

Efter att ha gått igenom litteraturen på fältet har jag funnit att Porcelain (Vitrous) Enamels av Andrews, Pagliuca, & Faust (2011) är det kanske mest centrala och mest omfattande verket på fältet och det är också huvudkällan för den här litteraturöversikten. Det kompletteras väl på det teoretiska och praktiska fältet av Glazes and Glass Coatings av Eppler, R. A., & Eppler, D. R (2000). Samt Email und Emailliertechnik av Petzold, A., & Pöschmann, H (1987). Alla tre verk är tydligt skrivna för den industriella emaljproduktionen. Information om mer hantverksmässiga och konstnärliga tekniker

kommer huvudsakligen från Enamelling on Metal av Untracht (1957), O. Thompson Enamel Workbook med Ellis, T (1997) som redaktör är också en viktig källa. De kompletteras och nyanseras av ett antal andra källor. Men någon som går närmare in på emaljering på svartsmide har jag inte kunnat hitta. Det närmaste är Thompson Enamel Workbook som tar upp det i ett kort avsnitt (Ellis, 1997, pp. 14,22).

3 Forskningsdesign

I detta avsnitt följer en beskrivning av undersökningens upplägg och en redogörelse för vilken arbetsmetod som har använts för att angripa problemställningen.

Forskningen i denna mastergradsavhandling syftar till att överbrygga bristen på kunskap som finns på fältet med avseende på emaljering på friforms hantverksmässigt järnsmide.

3.1 Problemställning

Det finns rikligt med litteratur om emalj på det industriella fältet men generellt saknas det information om hur emaljering kan göras på smidesjärn. Den emaljering som görs hantverksmässigt görs på tunnplåt, till exempel skyltar. Det är, som jag ser det främst tre förutsättningar inom emaljering som skiljer sig åt mellan industrin och konstsmiderna: material, teknisk utrustning och det färdiga utseendet. Nedan följer en diskussion av dessa tre huvudsakliga skillnader.

Material

Efter genomgången av litteraturen på fältet är det tydligt att fokus ligger på emaljering av stål på industrins premisser, och förutsättningarna är annorlunda för konstsmide och järnsmide än för emaljindustrin. Inom emaljindustrin är det inget stort problem att få tillverkat specialstål, medan detta är ett större problem för konstsmiden. Vanligtvis tar man inom konstsmidet utgångspunkt i stål i stångformat. De produkter som emaljeras industriellt är i stort sett gjorda av plåt eller gjutjärn, och därför är emaljstål med få undantag bara tillgängligt som relativt tunn plåt och inte i stångformat. Plåten kan klippas i remsor, men normalt bara i några millimeter tjocka plåtar. Det finns Armco och purusFE i stångformat men det är relativt svårt att få tag på och jämfört med standard varmvalsat stångstål är det ett mycket dyrare material. Dessutom finns det stålet endast i ett begränsat antal dimensioner. Därför är det för konstsmidet intressant att undersöka om mer lättillgängliga stål och i synnerhet standard varmvalsat stål kan fungera bra för emaljering. Industrin vill också gärna använda så fina specialstål att det inte krävs någon grundemalj och därmed bara behövs en bränning.

Teknisk utrustning

Det är tydliga skillnader mellan industrins och konstsmidens förutsättningar vad gäller teknisk utrustning och krav om produktion. För industrin är stora och dyra tekniska lösningar ett mindre problem än individuella hänsyn till föremålen. Industrin kan använda stora bad för doppning av stora föremål, långa torktunnlar, tunnelugnar för bränning och

emaljslippbad som står under kontinuerlig omröring och rensning. De kan också använda giftiga kemikalier som cyanid som kräver utrustning och eventuellt tillstånd för att hantera. Konstsmeden som arbetar i en mindre verkstad har inte de möjligheterna till tekniskt avancerad och kostbar utrustning. Även om konstsmeden har begränsningar vad gäller de tekniska förutsättningarna, så har denne samtidigt möjligheter som inte industrin direkt har. I industrin ska föremålen så långt det är möjligt hanteras automatiskt och mekaniserat. För konstsmeden är det tvärtom en grundförutsättning att föremålen skapas och hanteras manuellt av en människa. Det gör att föremålen kan hanteras individuellt och individuella hänsyn kan tas, till exempel skulle det vara möjligt att anpassa bränningen av ståltyper som varierar i hur de beter sig. Det skulle också kunna vara möjligt att använda tekniker som industrin inte vill använda för att det är för arbets- och tidskrävande.

Det färdiga utseendet

Emaljindustrin har krav om att ytorna ska vara perfekta på alla emaljeringar och att det ska gå fort. Badkar och badkarssidor, tvättmaskinsfronter, ovandelar till spisar och liknande föremål får inte ha några fel. I ett konstsmidessammanhang kan många av de resultat som inom industrin betraktas som misslyckade bränningar vara önskade utseenden. Det kan vara missfärgningar och prickar, streck i ytan eller till och med sprickor och en krackelerad yta. Förutsättningarna är därför olika för konstsmeden och industrin, som emaljen är utvecklad för. Därför vill jag inte lägga några mer begränsningar på vad som är användbart utseende för en konstsmid än att emaljen sitter fast på ytan. Faller den av så är det ingen emalj på ytan. Det betyder att andra materialkombinationer och appliceringsmetoder kan vara fullt användbara trots att de inte används inom industrin

Dessa skillnader i förutsättningar mellan industrin och konstsmeden, vad gäller emaljering gör att kunskapen från industrin inte direkt kan överföras till konstsmedens utövning. Detta leder mig fram till följande problemställning:

Vilka kombinationer av ståltyper, med och utan oxiderad yta, appliceringsmetoder och tre emaljfabrikat, ger användbar vidhäftning för emaljering på konstnärligt järnsmide?

3.1.1 Definition av begrepp

I detta avsnitt diskuteras och definieras begrepp som är centrala för projektet och problemställningen. Andra begrepp diskuteras och definieras löpande i texten.

Begreppet konstnärligt järnsmede är centralt i problemställningen och i hela projektet. För att definiera begreppet delar jag upp det och definierar järnsmede först. Vid första anblick ser det enkelt ut att definiera begreppet järnsmede eftersom de två delarna järn och smide har tydliga tekniska definitioner. Järn är ett grundämne och smide är formgivning genom plastisk deformation (Bonde-Wiiburg, 2000, pp. 398-406). Det material som används till järnsmede är aldrig rent järn utan legerat med andra ämnen. All formgivning genom plastisk deformation av järn kallas inte smide. Ser man historiskt på järnsmede så gjordes det av smeder som tillverkade verktyg, byggnadsbeslag, delar till vagnar och båtar samt dekorerade bruksföremål genom varmformning av olika stållegeringar med hjälp av hammare och städ. Föremålen var också vanligen svarta (Bergland, 2000, pp. 10-11,36-41; Enander & Norén, 2006, pp. 4-5). Om man tar det historiska smidet som definition av järnsmede så är det inte bara bestämt av materialet och att arbetsprocessen är plastisk deformation¹⁷, utan det definieras också av föremålets funktion, att smeden använder hammare och städ som huvudverktyg och att smidet därför är friformssmede. Yrket att tillverka byggnadsbeslag utvecklades till att man idag arbetar med elektrisk svets och det finns inget varmt friformssmede¹⁸ eller ens plastisk deformation som huvudsaklig arbetsmetod. En stor del av företag som tillverkar svetsade stålkonstruktioner använder beteckningen smide som en del av företagsnamnet eller som namn på det de gör. Referensen är ett typiskt och tydligt exempel på den här definitionen av järnsmede (Kyrkbyns järnsmede AB, 2016). Begreppet järnsmede har i samhället, som jag ser det ingen entydig definition. Definitionen kan ta utgångspunkt i process, funktion eller objekt, och olika sidor blir avgörande för definitionen. Därmed har järnsmede både sociala, tekniska och funktionella definitioner. I det här projektet definierar jag järnsmede baserat på tekniska och tillverkningsprocessuella egenskaper. Järnsmede är objekt formade huvudsakligen i stål genom plastisk deformation där materialet under bearbetningen är varmare än materialets rekristallisationspunkt. Bearbetningen i järnsmede sker huvudsakligen genom friformssmede med hammare och sättverktyg mot städ, vilket till skillnad från sänksmede resulterar i föremål med varierande mått (Almar-Næss, 2003, pp. 142-145; Bonde-Wiiburg, 2000, pp. 400-404; Enander & Norén, 2006, pp. 4-5).

¹⁷ Plastisk deformation är formförändring, som kvarstår efter att kraften som orsakat deformationen försvunnit (Almar-Næss, 2003, p. 75).

¹⁸ Friformssmede skiljer sig mot sänksmede där verktygen har en sluten form och alla produkter får samma form. I friformssmede används verktyg med "universell" utformning så att den slutliga formen i större grad definieras av smeden än av verktyget. En helt tydlig gräns är inte enkel att dra mellan friformssmede och sänksmede. Enklare sänken används ofta av smeder som arbetar med friformssmede och produkterna blir betraktade som friformssmede (Bonde-Wiiburg, 2000, pp. 400-401; Enander & Norén, 2006, pp. 4-5)

Förklaringar av begreppen friformsmide, sänksmide och rekristalisationspunkt samt andra begrepp finns i avsnitt ordlista.

Den konstnärliga delen av definitionen definierar jag i detta projekt som att föremålen är formgivna med estetiska hänsyn och målsättningar och inte endast praktiska och funktionella målsättningar. Föremålen är till exempel tillverkade för att fungera som utsmyckning och inte endast för att lösa ett tekniskt problem.

Användbar vidhäftning definierar jag för detta projekt som: Emaljen ska sitta kvar på stálytan som tillverkaren har menat det under den tid som föremålet kan förväntas användas och med den behandling som föremålet var menat att bli utsatt för. Det betyder att vad som är användbart för ett föremål inte garanterat är användbart för ett annat. Ett redskap som ska användas i t.ex. matlagning måste tåla mycket mer mekanisk påverkan än ett föremål som hänger på en vägg för utsmykningsändamål. Ett föremål som ska bäras som ett smycke i vardagen måste tåla mer än ett som bara bärs med försiktighet vid ett fåtal tillfällen. Alltså vad som är användbar vidhäftning beror på vad det är för föremål och hur det ska användas. Det jag också lägger i begreppet användbar vidhäftning är att emaljskiktet inte har andra oönskade fel som gör att det inte fungerar som tillverkaren har menat. Det kan till exempel vara småsprickor, blåsor, mm.

3.2 Metod

Kärnan i avhandlingen är en material- och arbetsmetodundersökning med syfte att hitta användbara arbetsmetoder och material för att emaljera konstsmidesföremål, med förutsättningen att material och arbetsmetoder ska fungera bra för konstsmider som arbetar i mindre verkstäder. Det leder vidare till problemställningen för avhandlingen där målet är att undersöka olika kombinationer av ståltyper, emaljtyper och olika applicerings- och arbetsmetoder. För att kunna besvara problemställningen, kommer praktiska experiment genomföras där de olika kombinationerna testas. Eftersom många olika faktorer kan ha betydelse för hur materialen fungerar tillsammans försöker jag isolera olika parametrar och undersöka dem var för sig. Därför ska jag göra avskilda testserier där endast en parameter får variera och övriga hålls konstanta, vilket gör att påverkan av den undersökta parametern visar sig i resultatet. Detta kräver att alla avgörande parametrar är kända och kan kontrolleras eller kompenseras för. Av denna anledning använder jag noggrann mätutrustning för att kunna kontrollera de olika parametrarna och även redovisa tydligt vilken utrustning och noggrannhet de har för att arbetet ska vara analyserbart och

efterprovbart. För att så långt det går isolera olika parametrar i de olika testserierna ska jag göra provbränningar på identiska provbitar. I starten är flera faktorer okända och jag gör därför ett antal inledande testserier där problem blir tydliggjorda så att jag därefter kan göra en huvudundersökning. Eftersom varje testserie kommer ha ett eget mål och syfte kommer arbetsmetoden för varje delundersökning att specificeras vidare i respektive avsnitt.

En provbitstestserie med endast en faktor som variabel har den stora fördelen att man kan se en faktors specifika betydelse, men nackdelen är att undersökningen som helhet blir distanserad från den kontext som resultatet ska användas i. I slutändan ska inte de föremål som konstsmeden tillverkar bestå av till exempel plana och kvadratiske provbitar. Den mångfald av föremålstyper och komplexa situationer som smeden kommer att vilja använda emaljer i är så klart mycket stor och det är inte möjligt att testa alla dessa. Eftersom jag både är utövare och forskare i denna studie har jag möjligheten att föra tillbaka kunskapen och empirin tillbaka till fältet och genom användning på kompletta föremål se hur det fungerar i realiteten. På detta vis blir kunskapen validerad direkt i studien utan att det behöver göras i efterhand och detta är en styrka med studien. Studien bygger då en bro mellan utövande fält och laboriemässig forskning.

I en renodlad provbitsstudie blir den reella situationen idealiserad så att endast några faktorer tas med. I konstruktionen av undersökningen måste man förutse vilka faktorer som är väsentliga och ta med dem i beräkningen. För att exemplifiera kan det vara så att jag bedömer slipning av ståltyorna med vinkelslip som en bra och lämplig metod för en konstsmed att rengöra stålet från glödskalet och oxider. Det fungerar utan problem på provbitarna i min undersökning, men när en smed senare ska använda detta i realiteten så visar det sig att det ofta inte går därför att föremålen är för komplicerade för att det ska gå att slipa alla ytor. Även om man noggrant gör urvalet av vad som är realistiskt och väsentligt, är det inte alls säkert att allt väsentligt fångas in. En del faktorer kan också vara omedvetna och därför svåra att ta med. Den utövande fullskaliga testserien garanterar att alla faktorer kommer med, men det garanterar endast för det specifika fallet. För att den fullskaliga testserien ska ge bra resultat är det viktigt att den innehåller alla steg från formgivning, smide och emaljering till färdigmonterat föremål, så att alla steg som skulle kunna påverka emaljeringen kommer med. Men även om alla steg i processen är med i denna del av undersökningen så är det i slutändan ändå ett specifikt fall och med ett annat specifikt fall är det mer eller mindre andra faktorer som påverkar.

De båda delarna av studien har därmed sina olika fördelar och nackdelar och bidrar med olika delar i studien.

4 Testserier med emalj på stål

Testserierna startar med provbitsundersökningen och första delen där är en genomgång av den tekniska utrustningen och andra förutsättningar som undersökningen startar med. Efter de ett antal provbitstestserie kommer huvudundersökningen som också gör på provbitar. Sista delen av testserierna är den fullskaliga experimenteringen med emalj på stål, där jag formger, smider och emaljerar hela föremål.

4.1 Provbitsundersökning

Målet med provbitsundersökningen är att undersöka hur emaljer från Thompson Enamel, WG Ball och emalj från Skillinge Emalj, fungerar på olika ståltyper och med olika appliceringsmetoder. Arbetsmetoden för undersökningen är att undersöka specifika egenskaper genom att isolera de i testserier. Varje testserie är en separat undersökning med egen metod. Resultatredovisning och analys av resultatet, med slutsatser blir gjord för varje testserie. Slutsatserna från varje testserie ligger till grund för nästa testserie. Jag ska fritt gå in i undersökningen för i starten är många faktorer okända. Därför kommer de första undersökningarna antagligen bli något grova. Men erfarenheten från de testserierna kommer leda fram till en specifik problemställning för huvudundersökningen. Undersökningen byggs på det viset upp succesivt. Efter huvudundersökningen med provbitar ska jag använda kunskapen för att göra fullskaliga test med emaljen på hela föremål.

Jag väljer att göra undersökningarna på plana provbitar i formatet 60mm gånger 60mm. För att kunna hålla ordning på provbitarna numrera jag de på baksidan med dels en bokstav för ståltyp och ett löpnummer. Identifieringen stämplas in i stålet så att det är läsligt även efter bränning.

Bitarna bränns i en Naber emaljugn kompletterad med en modern PID-styrning¹⁹, för att kunna hålla exakta temperaturer. PID-styrningen får temperaturinformation från en K-termoelementgivare²⁰ placerad inne i ugnen. Givaren är instucken genom ett befintligt hål

¹⁹ PID-styrning är en proportionerande, integrerande och deriverande process kontrollenhet. De anpassar sig efter ugnens egenskaper genom att mäta ugnens temperatur och jämföra med tillförd effekt. Man kan då hålla en önskad temperatur med hög noggrannhet. För att utnyttja PID styrningen krävs i praktiken ett externt Solid State relä för att styra strömmen till ugnen. Den PID som användes till alla bränningar i denna avhandling är en EMKO ESM-4450 (PID-regulator, 2016).

²⁰ K-termoelement är en temperaturgivare som använder två elektriska ledare med olika kemisk sammansättning. Trådarna är elektiskt isolerade från varandra utom i ändarna. Den varma punkten är placerad där man önskar att mäta temperaturen. Den andra, det kalla lödstället är placerat i mätinstrumentet.

bak i ugnen ca en cm från taket. Temperaturen kontrolleras med en Fluke t3000 FC, K-termoelement termometer med ett termoelement som sticks in i ugnen genom lufthålet mitt i luckan. Temperaturen kontrollmäts inte kontinuerligt utan endast med några bränningar mellanrum för att kontrollelementet inte ska åldras²¹ på samma sätt som det permanenta, på sikt gör. På så sätt räknar jag med att kunna upptäcka eventuella förändringar i det termoelementet som alltid sitter i ugnen och används för att styra ugnen. Vägningen av provbitarna för att bestämma mängden emalj på provbitarna görs med en Kern KB 650-2NM²² precisionsvåg. För att provbitarna enkelt ska kunna lyftas in och ut ur ugnen har jag byggt en rostfri ståljigg. Jiggen består av en stålplatta i botten och på den är det fastsvetsat stålspiggar. Provbitarna ligger då uppe på stålspiggarna ganska nära mitten av ugnsutrymmet. För att lyfta in och ut provbitarna kan jag använda en plåtremsa och sticka den in under provbiten. Då kan all hantering göras utan att skada emaljen. I tillägg blir provbitarna jämt värmda från både ovan och undersidan, när de ligger på jiggens spiggar inne i ugnen.



Bild 1. Naber emaljugn med PID-temperaturstyrning inbyggd i det vita skåpet till höger.

På grund av temperaturskillnaden uppstår en spänning mellan trådarna och spänningen beror på temperaturen (Pentronic, 2016).

²¹ Alla termoelement åldras och slits och då ändras egenskaperna så att mätfel uppstår. Därför är det viktigt att ha kontrollelement att jämföra med för att få en uppfattning om hur åldrat ett termoelement är (Pentronic, 2016).

²² Kern KB 650-2NM vågen är en precisionsvåg för laboratoriebruk. Vågen har en upplösning på $D=0,01$ gram. Linariteten är $\pm 0,03$ gram. Vågen var tidigare certifierad, certifieringsprecisionen är $E=0,1$ gram.

4.1.1 Inledande testserie

Nu i starten är många faktorer okända och frågor finns samtidigt. Frågorna som finns under problemställningen är. Hur bra emaljen fäster på vanligt stål jämfört med emaljstål? Hur varmt och hur länge behöver emaljerna brännas för att flyta ut och binda till stålet? Hur påverkar glödskalet emaljen? Hur påverkar tiden mellan glödning och emaljering emaljen? Jag bedömer det som att det första steget bör vara att undersöka lämpliga bränntider och temperaturer för de olika emaljerna. Det finns inga helt tydliga uppgifter från tillverkarna av emaljerna eftersom det beror i sin tur på emaljugnens egenskaper.

Metod:

För att reda ut frågorna stegvis väljer jag att starta med en emaljtyp och en ståltyp och undersöka vilken tid och temperatur som behövs för att smälta ut emaljen med den utrustningen jag använder. Jag startar med WG Balls grundemalj och standard kallvalsat stålplåt av kvalitet EN 10130 DC01. Det är vanligast förekommande kallvalsade stålet med en kolhalt på max 0,12 % (Salzgitter Flachstahl GmbH, 2014a). Det stålet märker jag med **K**. Enklaste appliceringsmetoden är att strö på emaljen kallt på stålet och det väljer jag att göra och att använda en emaljsikt från WG Ball. WG ball anger på sin hemsida att deras prov är brända på 800°C (WG Ball, 2016). Därför startar jag med emaljugnens temperaturstyrning inställs på 800°C. Före emaljering glöds provbitarna i ugnen för att ta bort alla oljeföreningar och efter glödning slipas provbitarna lätt med smärgelduk.

Resultat:

Första biten, K1 sattes in i ugnen tillsammans med ståljiggen och jiggen var då kall. Det tog efter insättningen 7 minuter för ugnen att komma upp i 800°C och då togs biten ut. Emaljen på K1 är väldigt skrovlig och har inte flutit ut. Ytan ser ut att vara täckt med småbubblor. För att få emaljen att flyta ut bättre, höjer jag temperaturen i ugnen till 810°C, till nästa provbit som är K2. Före bränningen av K2 fick ståljiggen stå kvar i ugnen så att den inte kylde ner ugnen vid insättning och onödigt förlänger bränntiden. K2 brändes i 3 minuter och då var ugnen uppe i temperatur. Emaljen på K2 är inte heller helt slät och jämnt utbränd. Därför höjer jag temperaturen i ugnen till 820 och låter nästa provbit, K3 stå inne längre efter att ugnen har kommit upp i temperatur. Ugnens temperatur gå då helt upp till 829°C innan jag tar den ut. Provet är jämnare än de tidigare men är inte helt jämnt trots högre temperatur. För att se om det ska mer emalj för att den ska flyta ut, strör jag ett tjockare lager och höjer ugnstemperaturen till 830°C. Nästa prov, nr K4 bränns i 7 minuter och under den tiden hinner ugnen gå upp i 852°C innan den faller igen ner mot inställt värde. Ugnen borde inte bete sig så och gå så långt över inställd måltemperatur. K4 blev

något jämnare än de tidigare men ändå inte helt slät. Jag testar en gång till med en ny provbit, nr K5 med samma inställningar som föregående bränning. Denna gång går ugnen också långt över måltemperaturen och vänder först på 845°C. K5 ser efter bränning ut som K4 men emaljen har dragit sig in från en kant av plåten och lämnat stålet fritt från emalj där.

Efter som ugnen varierar så mycket i temperatur och går så långt över inställt värde går jag igenom inställningarna för PID-temperaturstyrningen. Efter ändringar i inställningarna så fungerar ugnen betydligt bättre. Nu går temperaturen endast en till två grader över inställd värde efter att ugnen öppnats och en ny provbit satts in. Efter att temperaturen gått upp faller den snabbt ner på måltemperaturen och håller sig inom en grad därefter. I de första fem inledande provbränningarna har jag inte kontrollvägt mängden emalj. Det startar jag med nu och räknar med att kunna jämföra olika prov och se på betydelsen av emalj tjockleken.

För att förenkla och säkra insamlingen av data från bränningarna bestämmer jag mig för att använda ett protokoll. Jag tänker att det blir lättare att jämföra data när den är mer systematiskt insamlad som den blir med ett protokoll. Protokollet jag har gjort samlar in information om provbitens ståltyp, förbehandlingen av stålet, mängd emalj, typ av emalj och appliceringsmetod samt data om bränningen som ugnstemperatur och bränntid. Protokollet finns med i bilagor.

Efter ändrade inställningar på ugnen och införandet av vägningen av provbitarna och protokoll, så bestämmer jag mig för att göra ytterligare två provbränningar i den inledande serien och se hur allt fungerar. Provbitar K6 bränns i 3 minuter på 820°C. Efter bränningen har emaljen rest sig i små flak på en del ställen och stålet är synligt under. Det fenomenet har inte inträffat på någon av de tidigare fem provbitarna. Därefter bränner jag ett sista prov, K7 med samma behandling och inställning på ugnen. Emaljskiktet blir dock något tjockare och den torra emaljen väger 2,07 gram jämfört med K6 som fick 1,16 gram emalj. K7 bränns i fyra minuter. Efter avsvälning lossnar emaljen i stora flak och faller av stålbiten. Här är det tydligt mycket dåligt bindning av emaljskiktet till stålet. Emaljskiktet som är kvar på K6 och K7 är smält till ett sammanhängande skikt men är relativt ojämnt.

Analys:

När det gäller temperatur så ser 800°C ut att vara för lite och att en temperatur på 820°C eller mer är nödvändig. Att emaljen lossnar och flagnar av på två prov men inte på de andra framstår som märkligt, eftersom alla prov är brända med samma ståltyp, samma emaljtyp, bränd i samma ugn och emaljen är lagd på stålet på samma vis. Det är tydligt att

jag inte har kontroll på processen. Det kallvalsade stålet har en kolhalt som ligger strax över det gränsvärde som Thompson anger för sina emaljer.

Det troligen mest använda stålet för konstsmide idag är det vanligaste varmvalsade stångstålet. Det stålet med beteckningen S235JR har en kolhalt på maximalt 0,17 % (BE Group Sverige AB, 2016). Detta var tidigare SIS 1312. Både det kallvalsade stålet och det varmvalsade stålet har betydligt högre kolhalt än normala emaljeringsstål och högre kolhalt än det Thompson Enamel anger för sina emaljer. Thompson Enamel anger att deras emalj kräver en grundemalj, när det läggs på lågkol emaljstål och att det stålet har en kolhalt på 0,02 till 0,04 %. De råder starkt användare till skepsis mot varmvalsade och kallvalsade stål med en kolhalt över 0,10 % kol (Ellis, 1997, pp. 13-14).

Det ut som att de skulle kunna gå att få emaljen att binda till det kallvalsade trots de två proven med emalj som lossnade av sig själv. Därför att emaljen ser ut att sitta bra på provbit K4 och K5. Det krävs antagligen mycket mer experimentering för att få tydliga svar. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor.



Bild 2. Bord för hantering av provbitar och med våg för att bestämma mängden emalj på alla provbitar. Jag använde enkla ståljiggarna för att enkelt kunna flytta provbitar utan att skada emaljskiktet eller beröra de med fingrar. Ståljiggarna består av en plåtremsa som är böjd till en u-form.

4.1.2 Inledande vidhäftningstestserie

Efter den inledande testserien ska jag gå vidare och göra en ny testserie, som är bredare och även har med kända emaljstål som referenser. Syftet är att se hur emaljen fäster till stålet.

Metod:

Gentemot den föregående undersökningen ska jag bredda undersökningen med en emaljtyp och tar därför med Thompsons grundemalj GC-16. Den ståltyp som är enklast att få tag på och som finns i flest dimensioner är det vanligaste varmvalsade stålet S235JR. Om det stålet är användbart så har det störst betydelse för den utövande smeden. Därför tar jag med det. Provbitarna från det varmvalsade stålet smider jag ut till plåt från plattstång. Det varmvalsade stålet får beteckningen **V** i undersökningen. Det kallvalsade stålet, EN 10130 DC0, från den tidigare testserien är också med i denna serie. För att ha något känt att referera mot ska jag ha med stål som är tillverkade för emaljering. Blir det då dåligt resultat på alla bitar så beror det antagligen inte på stålet utan någon annan faktor.

Tillsammans med emaljen jag köpte från Skillinge emalj fick jag med en del stål av det stålet som Skillinge emalj använder. Exakt vilket stål det är vet jag inte men det är ett djupdragningsbart emaljstål. Det är ett kallvalsat stål med en yta som tydligt skiljer sig från det vanliga kallvalsade EN 10130 DC01. Jag antar att Skillingestålet antingen är ett finare EN 10130 eller ett emaljeringsstål EN 10209. Är det EN 10130 bör det vara aningen DC06 eller DC07 eftersom det enligt Skillinge var lämpligt för djupdragning. EN 10130 DC06 är ett djupdragningsstål med en kolhalt på maximalt 0,020 % (Salzgitter Flachstahl GmbH, 2014d). EN 10130 DC07 har en kolhalt på maximalt 0,01 % (Salzgitter Flachstahl GmbH, 2014f). Båda stålen är innanför den kolhalten som Thompson uppger för lågkolstål.

Alternativt kan det vara ett EN 10209 stål, DC01EK har max 0,02 % kol medan både DC04EK och DC01EK har en max kolhalt på 0,08 % (Salzgitter Flachstahl GmbH, 2014b, 2014c, 2014e). Även om jag inte vet exakt vilket stål Skillingestålet är, så används det av Skillinge emalj så jag klassar det som ett emaljeringsstål. Provbitarna med Skillingestålet är stämplat med **S** och det är i texten kallat Skillinge stål.

Som referens tar jag med ett annat stål som jag vet är ett emaljeringsstål. Det är ett stål från en badkarssida som redan är emaljerad och därför måste vara emaljeringsstål. Det stålet får beteckningen **B** i undersökningen.

För att undvika föroreningar av olja så glöder jag alla provbitar för emaljering. Efter glödning slipar jag provbitarna helt rena från oxider. Det gör jag därför att jag ännu inte vet betydelsen av oxidskiktet och för att inte ha för många variabler i en provbit så slipar jag

de helt rena. Men det är intressant att se på hur oxidskiktet påverkar resultatet och därför tar jag med två extra provbitar med varmvalsat stål och emaljerar en med Thompson och en med WG Ball emalj. Eftersom stålen i slutändan ska emaljas med täckemalj, testar jag alla prov med vit täckemalj ovanpå grundemaljen. All emalj strös på torrt med emaljsikt från WG Ball på samma sätt som i den föregående testserien.

För att bättre kunna utvärdera vidhäftningen till stålet ska jag testa vidhäftningen. Det finns ett antal olika sätt att testa vidhäftningen av stål. Det enklaste testet är att knäcka emaljerade provbitar tills emaljen brister. Om emaljen faller av i stora flak och lämnar stålet ren från emalj så är vidhäftningen dålig. Om emaljprovet lämnar ytan täckt med emalj även efter knäckning så är vidhäftningen god.

Knäckningen gör jag med en skiftnyckel och ett skruvstycke. Bitarna böjs till emaljskiktet lossnar. För att knäckningen inte ska påverkas a

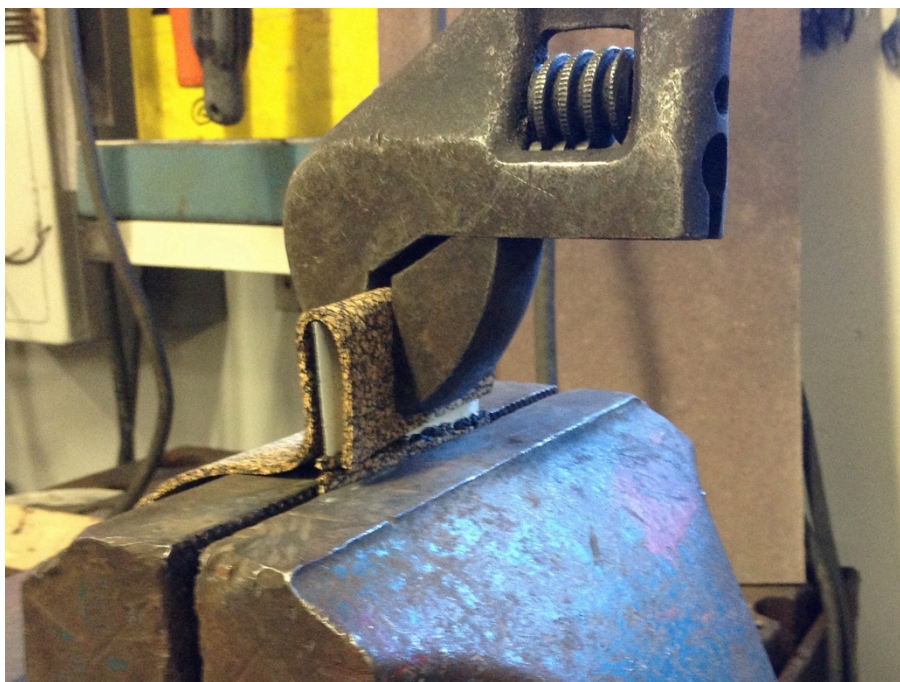


Bild 3. Knäckning av prov för att se hur bra emaljen sitter till underlaget. För att inte skarpa kanter på skruvstycket eller skiftnyckeln ska påverka resultatet användes 2 mm tjocka gummikorkpackningar som skydd. Proven böjs till emaljen spricker eller lossnar från underlaget.

I testserien är följande fyra ståltyper med:

Typ **K** kallvalsat EN 10130 DC01.

Typ **V** varmvalsat standard stål S235JR.

Typ **S** djupdragnings emalj stål från Skillinge emalj.

Typ **B** emaljstål från ett badkar.

I testserien är följande fyra emaljtyper med:

Thompson grundemalj GC-16 och Thompson täckemalj 534 White

WG Ball grundemalj och WG Ball täckemalj 12541 White.

Resultat:

Stålet från badkaret avemaljerades genom att glödas och så kylas i vatten så att emaljen spricker och lossnar. Sista emaljresterna slipades bort med vinkelslip.

Alla provbitar brändes på 830°C och alla bränningar gjordes i 4 minuter. Först emaljerades alla med grundemalj och efter att provbitarna kallnat så ströddes täckemaljen på provbitarna. Alla provbitar med Thompson emalj blev ganska skrovlig och grundemaljen lyser igenom täckemaljen på de provbitarna. Grundemaljen syns som linjer eller prickar över hela ytan. På det varmvalsade provet med renslipad yta blev effekten störst. Där har täckemaljen sammalt sig i ett närmast smårutigt mönster. Det resultatet skulle helt klart kunna användas i ett konstsmides sammanhang. Provbitarna med WG Balls emalj blev tydligt slätare och där syns grundemaljen mest som små prickar. Provbiten med WG Ball emalj och med glödskalet kvar på det varmvalsade stålet. Fick ett antal större bubblor i täckemaljskiktet. De andra fick inte bubblor. Det varmvalsade stålet gav ganska olika resultat. På provbiten med Thompson emalj och glödskalet kvar på varmvalsat stål, flöt inte emaljen ut utan klumpade sig samman och lämnade stålet fläckvis fritt från emalj. Därför emaljerade jag inte det provet med täckemalj.

Knäckningen av proven gav intressant resultat. Det kallvalsade K-stålet hade emalj kvar på hela stålytan där emaljen lossnat och det visar att emaljen sitter mycket bra. Skillingestålet har faktiskt mindre emalj kvar på stålet där emaljen lossnat. Men eftersom stålen är olika tjocka så får alla jämförelser tas med ett visst förbehåll. Jag knäckte inget av proven med varmvalsat stål.

Analys:

Det ser ut som att det går fint att få båda emaljtyperna att fästa på stålen med lägst kolhalt. Det varmvalsade kräver mer experimentering för att få ett bra svar. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor. Nedan följer bilder med beskrivningar på några av provbitarna i serien.



Bild 4. K8 Kallvalsat stål med WG Ball grundemalj och 12541 White strödd torr. Provet är knäckt men hela deformationsområdet är täckt med fastsittande emaljskrivor vilket visar att emaljen sitter bra. I den vita täckemaljen syns mörka prickar, vilket jag tolkar som grundemalj som syns igenom täckemaljen. K8 är helt klart det bästa provet i denna serien.



Bild 5. V1 varmvalsat stål med Thompson grundemalj GC-16. Provet hade glödskalet kvar när emaljen ströddes på och emaljen har dragit sig samman så att stålet syns. V1 blev inte täckemaljerat för grundemaljen hade täckt så dåligt.

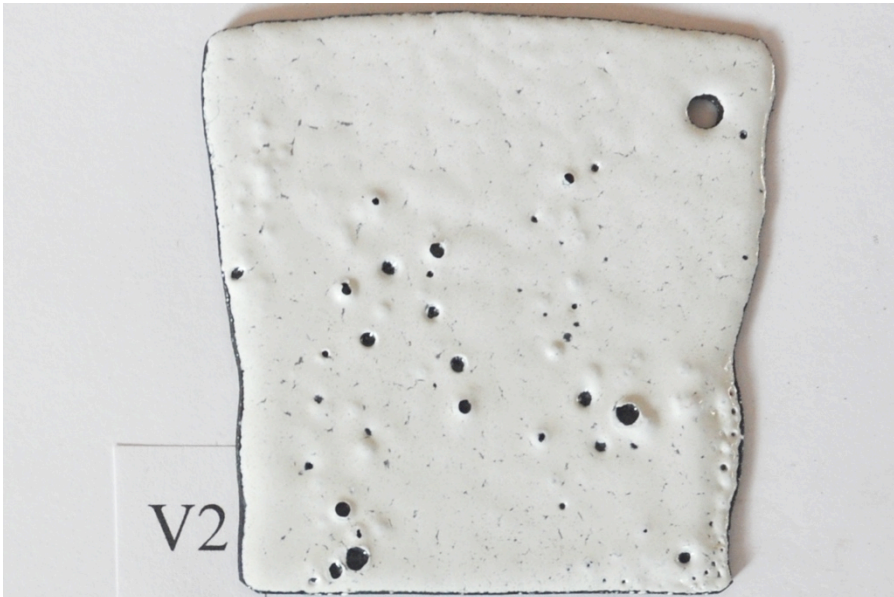


Bild 6. V2 varmvalsat stål med WG Ball grund och 12541 White, torr strödd. Stålet hade glödskalet kvar vid emaljen stöddes på. Gas från emaljen eller stålet har bubblat upp igenom emaljskiktet och skapa stora blåsor i emaljskiktet.

4.1.3 Testserie med tid och temperatur

Emaljen flöt inte ut ordentligt på provbitarna i föregående testserier och grundemaljen syns som prickar och sträck genom täckemaljen. Jag antar att detta beror på att emaljerna inte är brända på lämplig temperatur och rätt bränntid. Därför ska jag först göra en testserie och undersöka vid vilken temperatur och bränntid som emaljerna från Thompson och WG Ball flyter ut till ett jämnt skikt.

Metod:

Jag gör en testserie med standard kallvalsat EN 10130 DC01 stål för att se i vilket tid- och temperaturområde, som grundemaljerna flyter ut och bildar ett slätt och sammanhängande skikt. Stålet är som i tidigare serier stämplat med **K**. För att se om emaljen flyter ut bättre med mer tid testar jag att bränna i 2, 4 och 8 minuter, en dubblering av tiden i varje steg. Provbitarna testas på 830°C, 840°C och 850°C för att se om de flyter ut bättre på högre temperaturer. Både Thompson och WG Ball grundemaljer provas. Totalt blir det 18 prov. Alla provbitarna glöds i emaljugnen för att ta bort alla föroreningar och provbitarna slipas lätt före emaljering.

Resultat:

Alla emaljerades med ca 2g emalj som siktades på kallt. Efter de första 12 proven var det några prov där emaljen bubblade och några där det flagnade av. De följde inte tid och temperatur utan jag fick misstanke om att det hade samband med hur länge stålbitarna var glödda eller tjockleken på oxidskiktet. Därför glöddes alla de sista 6 proven på 850° i 1minut. Alla emaljproven brända i 2 minuter är tämligen skrovliga oavsett temperatur. De brända i 8 minuter är något slätare än de brända i 4 minuter. WG Balls grundemalj blev dock helt slät vid 4 minuter i 850°. WG Balls grundemalj blev generellt bättre än Thompsons grundemalj. Ett tydligt svar på vid vilken temperatur och hur lång bränntid som krävs blev det inte från denna testserie. Utifrån det här tänker jag att nästa steg blir att bränna en testserie där glödningstid och tjockleken på glödskalet är den variabla faktorn för att se mer på hur glödskalet påverkar resultatet. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor.

4.1.4 Testserie med oxidskikt, glödskalet

Testserien med tid och temperatur ger anledning att misstänka att graden av glödning har betydelse för vidhäftningen av emaljen. Därför blir nästa testrunda, en undersökning på glödskalets betydelse.

Metod:

Enbart EN 10130 DC01, standard kallvalsat stål testas, med både Thompson grundemalj och WG Ball grundemalj. Först testas en bit med enbart tvättad yta och ingen glödning. Bitarna tvättas med både lacknafta och rödsprit. De andra glöds i 1, 2 och 4 minuter i 850°C. Totalt testas 8 provbitar och all emalj strös torrt och kallt på provbitarna med emaljsikt från WG Ball.

Resultat:

De enbart tvättade bitarna hade inget glödskalet. De glödda 1 minut hade en mörkblå yta som vid kraftig anlöpning och inga blåsor i glödskalet. De glödda i 2 minuter hade ett tjockare glödskalet som var mörkgrått med några mindre blåsor. De glödda i 4 minuter hade mörkgrått glödskalet med många och stora blåsor i glödskalet. Alla blåsor krossades och löst glödskalet slipades bort med grov smärgelduk. Glödskalet i blåsorna lossnar väldigt lätt och motsvarar att löst glödskalet borstas av vid smide. Fastsittande glödskalet lämnades orörd.

Alla prov brändes i 850°C i 4 minuter med emalj. De två med enbart tvättad yta gav utmärkta ytor och inga tecken på dålig bindning. De glödda i 1 minut visade små gasblåsor och mer eller mindre sammansmälta kratrar efter gasblåsor. Thompsonemaljen gav sämre

resultat än WG Balls emalj. De glödda i två minuter hade flak av emalj som hade rest sig under bränning. Efter avkylning lossnade emaljen i stora flack och ytan som kom fram när emaljen lossnade är rent stål utan glödskalet och utan spår av emalj. De glödda i fyra minuter gav bättre resultat än de glödda i två minuter. Men ett flak lossnade och visade ren, bar metall under även på de glödda i 4 minuter. Skillnaden mellan Thompson emaljen och WG Ball var att Thompson emaljen var något ojämna och med fler bubblor än WG Ball. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor.

Analys:

Glödskalet ser ut till att mycket stor betydelse för vidhäftningen. Men varför den som glödgs i fyra minuter gav bättre resultat än den som glöddes i 2 minuter är något motsägelsefullt. Det skulle kunna vara så att glödskalet växer långsammare ju tjockare det blir. Alltså att glödskalet var ungefär lika tjockt på både 2 och 4 minuters plåten. Men det var betydligt fler blåsor på den glödd i fyra minuter. De blåsorna försvann före emaljering och därmed var det möjligtvis, mindre oxid på den glödd i fyra minuter jämfört med den glödd i två minuter. För att klargöra sambandet mer kan det vara aktuellt att utvidga testserien med fler prov med andra ståltyper för att se om det är samma samband mellan glödningstid och tjockleken på glödskalet och vidhäftningen till grundmetallen.



Bild 7. K32 provbiten är glödd i 2 minuter på 850°C i emaljugnen, före att emaljen ströddes torrt på. Emaljerad med WG Ball grundemalj. Emaljskiktet har lossnat av sig själv och lämnat stålet fritt från emaljrester. Som jag tolkar det har emaljskiktet släppt delvis från stålet redan medan stålet var varmt. Det baserar jag på att det finns tre områden med anlöpningsfärger på stålet. Anlöpningsfärgerna är oxidskiktet som börjar växa och därför tolkar jag det som att det måste ha funnits luft under emaljskiktet. En emalj som fungerar

som emaljen på detta prov är inte användbar. Skillnaden var tydlig mellan provbitar med oxidskikt och de utan oxidskikt innan emaljering. Så jag tolkar det som att det inte går att ha glödskalet på det kallvalsade stålet.

4.1.5 Testserie med vidhäftning till glödd yta och oxidfri yta på 4 ståltyper

Efter att betydelsen av glödskalet var mer undersökt och lämpliga bränntider och temperaturer för grundemaljerna var undersökt ska jag undersöka mer om hur väl de olika grundemaljerna fäster sig på olika ståltyper och hur mycket fel det blir i ytan. Eftersom ren stålyta ser ut att ha stor betydelse så är det intressant att se vilka möjligheter det finns för att få oxidfri yta.

Att slipa rent ytan kräver inga tekniska investeringar i en normal smedja. Men det är tidskrävande och på komplicerade föremål närmast omöjligt. Dessutom försvinner mycket av smidesuttrycket när ytan slipas ren. Ett alternativ är att blåstra ytan. Det görs på grövre föremål i industrin och görs lämpligen i ett blästerskåp. Blästerskåp finns oftast inte i en normal smedja. I industrin avlägsnas också oxidskikt med syrabad. Det kräver bad stora nog att hela föremål kan doppas, men också en del kunskaper om hur syrabad sköts och fungerar. I industrin används en serie med bad där föremålen blir avfettade, sköljda, etsade och neutraliserade. Vanligaste syran i industrin är svavelsyra, i sex procent koncentration och varmt till 66°C (Pagliuca & Faust, 2011, pp. 193-200). Ett sådant syrabad är inte enkelt att få till i en mindre smedja så det utelämnas i denna undersökning.

Metod:

Blästrad och renslipad yta är realistisk att få till och därför tar jag med det i undersökningen. Stålen som testas i denna serie är Armco, purusFE, standard varmvalsat stål S235JR och som komplement till det varmvalsade stålet tar jag med en bit äldre stål. Äldre stål avviker en del i sin sammansättning och det är t.ex. oftare lättare att ässjesvetsa²³ med äldre stål. Det är heller inte så svårt att hitta gammalt stål och det är därför ett realistiskt material att använda. Därför tar jag med en bit av ett gammalt staket. När jag slipar i det stålet så skiljer sig gnistorna tydligt från moderna stål och liknar äldre stål. Detta stålets exakta sammansättning är okänt men det är intressant att se hur ett äldre stål

²³ Ässjesvetsa är en metod för att sammanfoga stålbitar. Det är en trycksvetsmetod där inget av materialen är smält. Stålbitarna som ska fogas samman värms till mellan 1150°C och 1250°C beroende på stålsort. När stålet är varmt slås bitarna samman med hammare. Det är den äldsta metoden att sammanfoga stål (Bergland, 2000, pp. 58-59).

beter sig gentemot det moderna. Det testas både med glödd och blästrad, oxidfri yta. Stålet från det gamla staketet har beteckningen GS i testserien. För att se mer av betydelsen av oxid på de väldigt rena stålen testas både Armco och purusFE, med och utan oxid på ytan. Alla Armco provbitar får beteckningen A och alla provbitar med det stålet stämplas med A. Alla purusFE provbitar får beteckningen P och blir stämplade med P.

De blästrade proven, blästras med punktbläster och kiselkarbid. På grund av punktblästringen är de blästrade proven oblästrade i kanten. Armco och purusFE är specialstål med mycket låga kolhalter. De finns som stång och är därför mycket lämpliga för svartsmide. Stålen är dock dyra och går bara att köpa direkt från tillverkaren HKMstahl i Tyskland. Det gör att inköp blir ännu dyrare för transportkostnaden blir hög.

All emalj strös på kallt och torrt med emaljsikt från WG Ball. Alla bitar bränns i 4 minuter i 850°C. Provbitarna med glödskalet var alla smidda tidigare och hade det glödskalet blir under smidesprocessen kvar. För att säkerställa att det inte fanns någon fuktighet i oxidskiktet som skulle kunna orsaka problem, värmdes alla de glödda bitarna i ugnen i ca 30 sekunder. All emalj strös torrt på med sikt.

I testserien är följande fyra ståltyper med:

Typ **P** PurusFE

Typ **V** varmvalsat standard stål S235JR.

Typ **A** Armco.

Typ **GS** Ett äldre stål.

Emaljerna som används i testserien är Thompson grundemalj GC-16 och grundemalj från WG Ball.

Resultat:

Armco stålet och purusFE stålet fungerade fint med glödskalet kvar men övriga stål gav misslyckade resultat när glödskalet var kvar. Emaljen samlar sig då i klumpar och väter inte ut stålytan. Alla provbitar, oavsett ståltyp gav utmärkt resultat när ytan var slipad eller blästrad. Varken det gamla stålet eller det nya varmvalsade visade tecken på bubblor på grund av kolhalten eller flagning på grund av dålig vidhäftning. Provbit V5 och GS5 visar tydligt att den blästrade oxidfria ytan har stor betydelse. Där har emaljen krypt samman i kanten där ytan är oblästrad men är slät och fin på den blästrade delen. Provbit A1 och P2 har kvar oxidskiktet från utsmidningen från stång. A1 och P2 är båda släta, men de ser inte ut som att emaljen sitter lika bra som på V5 och GS5 trots att A och P stålen är väldigt låga

i kolhalt och borde ge utmärkt underlag för grundemalj. V5 och GS5 är båda blästrade innan emaljering.

Provbit A3 med Thompson grundemalj på Armco stål, med oxidskikt, har klumpat sig samman märkligt mycket och dragit sig in från kanten. Motsvarande bit med WG Ball grundemalj ser betydligt bättre ut. Det kan dock ha ett samband med att Thompson emaljen inte strös lika jämnt ut ur WG Ball siktarna. Det blir ett jämnare lager med WG Ball emaljen i och med de siktarna. GS-stålet med oxiderad yta fick både Thompson och WG Balls emaljer att dra sig samman från underlaget, så att delar av stålet blir synligt.

Thompson emaljen är dock avsevärt skrovligare och ser inte ut att ha flutit ut helt på alla provbitar. Därför blir nästa steg att testa Thompson emaljen på nytt för att se vid vilken temperatur och bränntid den flyter ut helt jämnt. Inga prov är knäckta för undersökning av hur det släpper. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor.

Analys:

Det behövs en ny omgång med temperatur och tid, för bränning av Thompson emaljen för att undersöka när den flyter ut till ett jämt skikt. Det är en mycket intressant skillnad mellan det kallvalsade EN 10130 DC01 stålet och det varmvalsade S235JR stålet. När glödskalet är kvar, släpper emaljen från det kallvalsade, i flak och lämnar en ren stålyta under. På det varmvalsade stålet, lägger sig emaljen i pärlor och flyter inte ut. Detta kan också undersökas vidare. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor. Nedan följer bilder och beskrivningar på utvalda provbitar ur serien.



Bild 8. GS5 Med blästrad yta utom längs kanterna. WG Ball emalj torrstödd. Emaljen är helt slät utan porer, sammandragningar eller synliga tecken på att släppa från underlaget. Jämför med GS3 som inte har blästrad yta.

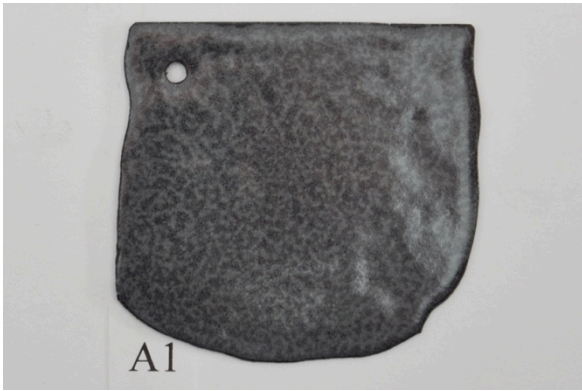


Bild 9. A1 Armco stål med mycket låg kolhalt. Beroende på grad innehåller den max 0,020 % till 0,010 % (AK STEEL INTERNATIONAL, 2016). A1 provbiten emaljerades med WG Ball grundemalj på yta med oxider, glödskal. Trots glödskal syns inga blåsor, sammandragningar eller tecken på att emaljen släpper från stålet.



Bild 10. GS3 Med oxiderad yta. Thompson emalj torrströdd. Emaljen har dragit sig samman och lämnat stora delar av stålytan fri från emalj. Jämfört med GS5 är det en tydlig indikation på betydelsen av oxider på stålytan. Men emaljen skiljer också mellan GS3 och GS5. Provbiten GS1 som är emaljerad med oxiderad yta och WG Ball grundemalj visar samma skrovliga yta som har dragit sig samman, dock inte i lika stor grad som på GS3.



Bild 11. P3 PurusFe stål med mycket låg kolhalt i likhet med Armco. Kolhalt max 0,010 % vanligtvis innehåller den 0,003 % (HKM Stahl GmbH, 2015). Trots den mycket låga kolhalten har emaljen dragit sig samman och bildat klumpar. Den visar att även väldigt

rena och låg kolhaltiga stål kan få problem. Emaljerad med Thompson grundemalj på oxiderad yta, glödskal från smidesprocessen.

4.1.6 Bränntid och bränntemperatur för Thompson grundemalj

I den föregående testserien flöt inte Thompson emaljen ut ordentligt på något av proven och innan mer experiment görs ska jag undersöka vid vilken temperatur emaljen flyter ut och hur länge den behöver brännas.

Metod:

Thompson emaljen GC-16 testas på ren oxidfri plåt av **K** typ, kallvalsad EN 10130 DC01. För att se om den flyter ut bättre med längre tid testas 4 minuter, 8 minuter och 12 minuter. Temperaturen testas på 820°C, 840°C och 860°C. Sammanlagt nio provbitar K38 till K46. Alla provbitarna är fria från oxider och enbart rengjorda med lacknafta och rödspit. Alla proven torrströddes på kallt stål med WG Ball emaljskikt. Sikten har en maskvidd på ca 13 trådar på 10mm.

Resultat:

Som antaget blev emaljskiktet slätare med ökande temperatur och med längre bränntid. Trots det blev inte K46 med 12 minuter bränntid och 860°C bränntemperatur helt slät.

Analys:

Både bränntid och temperatur är väldigt lång och hög jämfört med det böckerna och Thompson antyder. Det finns inga exakta tal eftersom det varierar med olika ugnar och föremål. Men jag ser ingen anledning att gå högre upp i tid och temperatur utan tolkar resultatet som att ojämnheter beror på att emaljpulvret lägger sig så ojämnt att det inte kan flyta ut till ett slätt skikt. Dessutom är den med kortast bränntid och lägst temperatur helt sammansmält. Den har bara inte flutit ut till ett slätt skikt. För att få en slät yta krävs en annan teknik inte mer tid eller högre temperatur är min slutsats av denna testserie. Det blir därför intressant att se hur Thompson emaljen blir när den appliceras vått med spruta. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor.

4.1.7 Testserie med torrströningsteknik och färgprover på WG Ball emaljer

WG Ball vit och grund fungerar bra att strö och för att testa om de andra WG Ball emaljerna fungerar lika bra eller om de beter sig annorlunda så gör jag en ny testserie. Det blir samtidigt en färgkarta för den fullskaliga testserien med smidesobjekt. Samlat sett blir

det en bra mängd undersökning där jag kan se hur torrströningen fungerar över fler provbitar. Det blir därmed en kvantitativ undersökning av torrströningstekniken.

Metod:

WG Ball har 17 färgade täckemaljer för stål, plus grundemalj. Alla de 17 färgerna testas på grundemaljerat stål, typ **K** alltså standard kallvalsat EN 10130 DC01. Eftersom grundemaljen är mörk kan det tänkas att emaljerna blir annorlunda om täckemaljerna läggs upp på ett lager vitt som först läggs på grundemaljen. Därför blir testserien med 32 provbitar, nummer K47 till K79. En provbit med bara grundemalj, 17 stycken med de olika täckemaljerna och slutligen 16 stycken färgade täckemaljer lagda på vit täckemalj som i sin tur ligger på grundemalj. Alla proven läggs torrt på rent stål, avfettat med lacknafta och rödsprit. All emalj torrströs med emaljsikt från WG Ball. Erfarenheten från tidigare testserier är att knappt 2 gram emalj på 6cm gånger 6cm stora provbitar täcker bra, när emaljen torrströs. Eftersom emaljen dammar när den torrströs och de färgade emaljerna kan innehålla tungmetaller så görs siktningen under utsugningshuv och med filtermask. WG Ball uppger på sin hemsida att deras emaljer är fria från bly och arsenik (Ball, 2016). Men de skriver inget på sin hemsida om kadmium i pigmenten. WG Ball uppger dock på specifik fråga i epost att deras röda, gula och orange emaljer innehåller kadmiumselenid (epost från John Ball på WG Ball, mottagit 2015.03.08). Pigmentet ska dock vara i inkapslad form, vilket jag tolkar som att pigmentet är insmält i zirkonglas. Då blir den giftiga kadmiumseleniden hindrad från att läcka ut och gör den betydligt säkrare (Eppler & Eppler, 2000, pp. 171-172). När emaljen torrströs är det enkelt att återanvända den emaljen som hamnar utanför den yta som ska emaljeras. Jag lägger ett papper under en ståljigg och därefter läggs plåten på jiggen. Efter siktning kan den emaljen som hamnar på pappret enkelt hållas tillbaka i siktburken. Efter rengöring av provbitarna transporteras provbitarna mellan siktning, vägning och in och ur ugnen med en spatel. Spateln är en enkel plåtremsa som jag använder för att flytta provbitarna mellan olika jiggar och in och ut ur ugnen. På så vis undviks förorening med fett från fingrar och märken från verktyg i emaljskiktet. På vågen, på siktplatsen, i och utanför ugnen finns ståljiggar så att provbitarna enkelt kan ställas av. Alla bränndata och bilder på alla bitar finns i bilagor.

Resultat:

De olika färgerna strös lite olika ur siktarna med resultatet att det lägger sig olika ojämnt. Före bitarna går in i ugnen ser det ut som ett helt jämnt lager och det underliggande stålet eller emaljytan är inte synlig. Men när provbiten kommer ur ugnen syns den underliggande emaljen mer eller mindre. Det finns inga blåsor eller andra fel på någon av bitarna i serien.

Analys:

Effekten kan helt klart utnyttjas för estetiska och konstnärliga ändamål men det är inte enkelt att få en jämn färg. Med en så stor serie utan några problem med blåsor eller liknande är det tydligt att det fungerar med WG Balls emalj på kallvallsat stål med grundemalj under täckemaljen. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor. Nedan följer några utvalda provbitar ur testserien som visar typiska eller avvikande resultat.

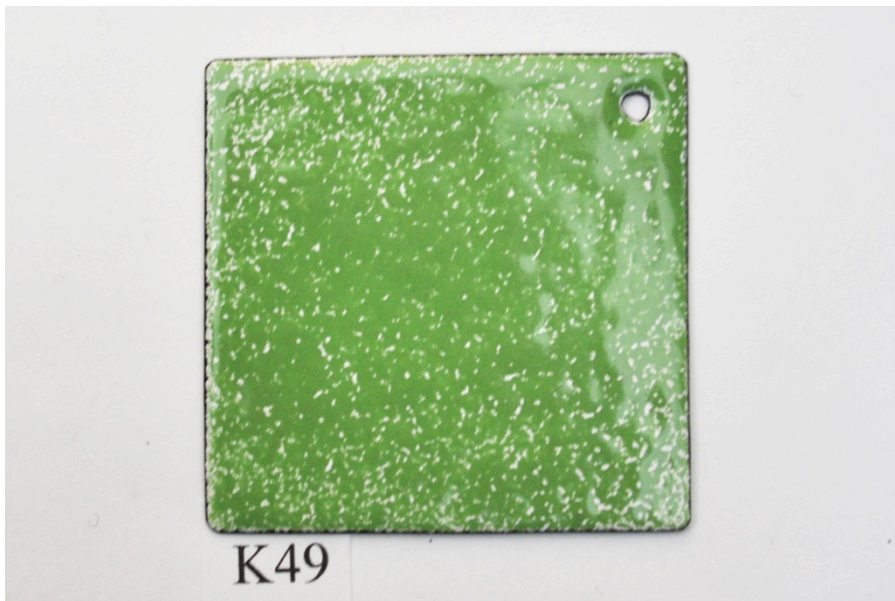


Bild 12. K49 Är ett typiskt exempel på hur provbitarna blev med vit emalj mellan grundemaljen och slutlig täckemalj. K49 är emaljerad med Celadon Green nr 12548 ovanpå vit.

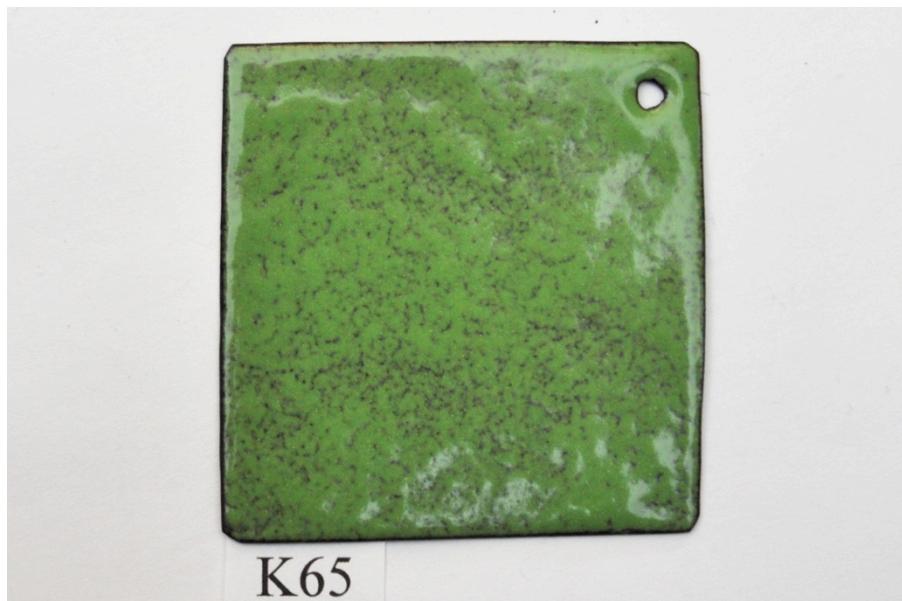


Bild 13. K65 är ett typiskt exempel på hur emaljen blev med endast den mörka grundemaljen under täckemaljen. Detta öppnar så klart för mängder av möjligheter med

olika färger ovan på varandra och ju tunnare man strör den överliggande täckemaljen desto mer lyser den underliggande igenom. K65 är emaljerad med Celadon Green.

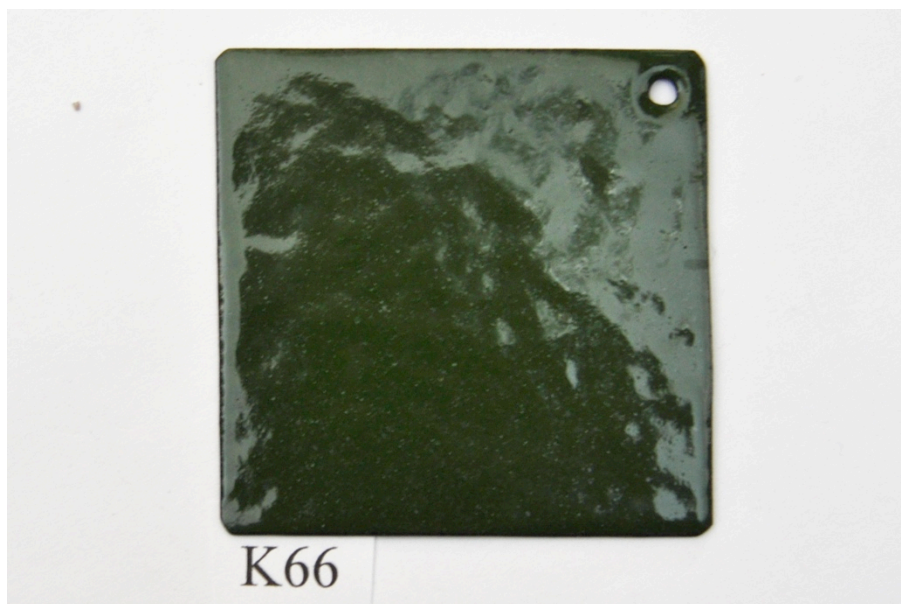


Bild 14. K66 är den provbiten som blev jämnast i färg i serien med torrströning. Men både täckemalj och den underliggande grundemaljen är mörk. K66 är emaljerad med Dark Green nr 12554.



Bild 15. K71 är emaljerad med nr 12549 Deep Yellow och det var den emaljen som la sig mest ojämnt under siktning. Ytan är helt sammansmält men ganska ojämn vilket syns i blänket på bilden.



Bild 16. K55 är emaljerad med nr 12549 Deep Yellow, ovanpå vit.

Torrströningstekniken är en enkel teknik som inte kräver att emaljen blandas med vatten utan kan strös ut på stålet. Resultatet från flera testserier och framförallt den sista med prover från alla WG Balls emaljer visar att emaljen oftast lägger sig ojämnt och att det är svårt att få god täckning av det underliggande emaljlagret. Att emaljen lägger som den gör kan helt klart användas av en konstsmid, för att uppnå visuella uttryck. Framförallt ger det en bra möjlighet att få diffusa övergångar mellan olika emaljer och mellan emalj och stål. Med de emaljsiktarna från WG Ball som har använts i testserierna har det varit svårare att sikta Thompson emaljen än det var att sikta WG Balls emalj. Det är intressant att testa andra siktar med båda emaljerna och i synnerhet med Thompson emaljen. Olika våtappliceringstekniker är mycket vanligare inom industrin än torra appliceringstekniker. Våt applicering görs huvudsakligen genom sprutning, pensling, doppning och hållning. Jag ska nu starta med experimenteringen med våta tekniker för att se hur det fungerar med de olika emaljfabrikaten och hur ytorna blir med de våta teknikerna. Doppning och hållning kräver större mängder emalj speciellt om föremålen är stora, men sprutning och pensling är enkelt att få till i en smedja och fungerar. Jag startar med våtsprutning och med Thompson emaljen eftersom den inte fungerade så bra vid torrströningen.

4.1.8 Våtapplicering av emalj med tryckluftsspruta

Med stora och komplexa föremål som det gärna kan bli med järnsmide är inte doppning en enkel metod att använda. Då verkar det enklare med sprutning eller pensling av emaljen i stället när emaljen ska läggas på vått. Thompson skriver också att sprutning är enklare att lära sig och passar för komplicerade former. Största nackdelen är investeringar i sprututrustning. Thompson uppger också att det rekommenderade munstycket är ".054",

ungefär 1,37mm och att mindre munstycken inte är lämpliga (Ellis, 1997, pp. 25-26). Thompson emaljerna är som standard siktade genom 80 sikt. Det betyder att sikten har 80 trådar per tum. Hur fint det blir beror också på hur tjock tråden är som sikten är tillverkad av. Tjockare tråd ger mindre hålrum mellan trådarna. De emaljerna som är inköpta för detta masterprojekt är av typen liquid enamel och den är siktad till 200 sikt (Ellis, 1997, pp. 5-6). Enligt Thompson är partiklarna i deras 80 mesh siktade emalj från .0070" och mindre. De anger dock inte hur små partiklarna är som går igenom deras 200 sikt (Ellis, 1997, pp. 5-6). WG Ball anger inte hur stora partiklarna är i sina emaljer. Eftersom många smidesdetaljer är små och det är intressant att skapa mönster är det intressant att testa mindre sprutor och sprutmunstycken.

Metod:

I första omgång testas en airbrush med 0,3mm munstycke. 0,3mm munstycke verkar vara standard på airbrush. 0,5 mm anges för bakgrund och grövre målning. En mindre standardspruta med 0,8 mm munstycke testas också. Om ingen av dem fungerar tillfredställande kan också en 1,0 mm spruta testas. Emalj siktad med 80 sikt har partiklar på 0,180mm och ska tekniskt sett kunna passera alla munstycken (Mesh (scale), 2016).

När det gäller mängden vatten i emaljen anger Thompson att deras liquide enamel ska i torr form blandas med 36 till 42% vatten. För sprutning kan det fungera med 25 till 35% (Ellis, 1997, pp. 24-25). Dock anger de inte om det avser vikt- eller volymprocent tyvärr. Men i exemplet efter anger de 1728gram emalj till 925 cc vatten, kubik centimeter, vilket motsvarar milliliter (Ellis, 1997, pp. 24-25). Här är viktförhållandet 1728 gram emalj till 925 gram vatten, totalt 2653 gram. Vattnet utgör här 34 procent av den totala massan.

För att kunna undvika inandning av sprutdimma från sprutningen som kan innehålla skadliga ämnen byggde jag ett filtrerande utsugningsskåp där luften går genom ett stort grovfilter för att sedan filtreras genom tre Hepa-filer. En 0,75 kw trefas fläkt suger luften genom skåpet. Inne i skåpet är det en bakplatta i fet plast så att den emaljen som hamnar runt om det som ska emaljas kan skrapas upp och återanvändas. Det som går i sprutdimman fastnar i filtren. Skåpet har dörrar så att det inte dammas ner invändigt av allmänt verkstadsdamm, speciellt från slipning med vinkelslip.

Resultat:

Thompson emaljen blandades på vikt med vatten till 110 gram emalj till 59 gram vatten. Ett förhållande på 1,868 delar emalj till vatten, enligt Thompsons instruktioner (Ellis, 1997, pp. 24-25). Först testades en 0,3mm airbrush spruta med grundemalj från Thompson. Det fungerade definitivt inte, ingen emalj kom igenom och det var ett tidskrävande arbete

att rengöra sprutan från emaljen. Därefter testades en 0,8mm spruta med överliggande gravitationsmatad²⁴ kopp. Det fungerade bra att spruta med det munstycket och emaljen la sig som ett jämnt skikt över stålytan. Prov K80 är första provbiten med sprutad emalj. Data för alla bränningar och bilder på alla provbitar finns i bilagor.

Analys:

Emaljen på provet med sprutad emaljering är mycket slätare än någon av de tidigare torrsiktade emaljproven. Thompson emaljen som fungerat dåligt att torrsikta, fungerade här utmärkt. Trots att emaljen enligt siktningen ska ha partiklar som alla ska passera även det minsta munstycket, fungerade det inte med mindre munstycke än 0,8mm. Jag har dock inte provat med 0,5mm och det är intressant att göra ett sådant prov, men det fungerade överhuvudtaget inte med 0,3mm och med tanke på att Thompson själva anger att munstycke bör vara knappt 1,4mm är det inte särskilt sannolikt att det skulle fungera med 0,5mm. Syftet med att prova de mindre sprutorna är att mindre sprutor ger bättre kontroll i mindre områden och med mindre sprutor skulle man bättre kunna använda air-brush tekniker. Det skulle ge konstsmeder ökad kontroll över sprutade detaljer. Sprutor med större munstycken kan så klart användas med de teknikerna som normalt används inom air-brush, men det blir då i en större skala. Andra emaljer kan fungera annorlunda vid sprutning och det vill vidare undersökningar visa.

²⁴ Sprutor med gravitationsmatad kopp har materialbehållaren på toppen av sprutan. Färgen eller i detta fall emaljslippen matas ner i sprutan av gravitationen. Andra sprutor har underliggande materialbehållare där undertryck på grund av ejektorverkan suger upp färgen eller emaljslippen ur behållaren.



Bild 17. K80 är sprutad med 0,8mm munstycke, därefter torkad över emaljugnen till emaljskiktet är helt ljust. Därefter bränd i Naber emaljugnen. Provbiten var oxidfri och avfettad före emaljering. Det resulterande emaljskiktet är betydligt jämnare än vid torrströning och visar inga tecken till att lossna, krypa eller att det skulle vara porer i ytan. Nästa steg i experimentering bör vara att undersöka hur mycket emalj som behövs vid våtsprutning för att uppnå ett heltäckande skikt med grundemalj som inte är onödigt tjock.



Bild 18. Sprutskåp med utsugning. Den vita plast bakplattan gör det enkelt att återvinna emalj som hamnar utanför provbitarna under sprutning.

4.1.9 Testserie på tjocklek vid våtsprutning med tre olika emaljer

För att undersöka hur mycket emalj som behöver våtsprutas för att uppnå ett heltäckande lager gör jag en testserie med alla tre grundemaljer som ingår i studien.

Metod:

Varje grundemalj testas på tre olika provbitar. Första biten sprutad en gång över så att det precis täcker. Andra biten sprutad dubbelt så mycket, alltså två gånger över. Tredje biten sprutas tre gånger över. Alla bitar kontrollvägs före påförandet av emalj och efter att emaljen har torkad för att bestämma hur mycket emalj finns per ytenhet. Alla prov gör på K-stål alltså kallvalsad EN 10130 DC01 som är oxidfri och avfettad. Provbitarna har nummer K81 till K89. För att reducera risken för rost på stålet medan emaljen torkar, påskyndas torkningen genom att provbiten torkas över emaljugnen.

Emaljerna som ingår i testserien är:

Thompson grundemalj GC-16.

WG Ball grundemalj.

Skillinge grundemalj.

Resultat:

Alla prov brändes i Naber emaljugnen i 4minuter med PID-kontrollen inställd på 820°C. Ugnen faller i temperatur under insättning men är uppe i temperatur igen efter ca 2 minuter. Den går kort upp ca 1 till 2 grader över inställt Set value och sedan ner på inställt värde och håller det. Set value är PID-kontrollens måltemperatur. När jag kontrollmäter med fluke termometern i mitten av ugnen där provbitarna ligger, är temperaturen där ca 10°C till 15°C grader lägre än de ugnsstyrningens termoelement visar. Det elementet är placerat nästan helt uppe i taket. WG Ball uppger att provbitarna som visas på deras hemsida är brända på 800°C (WG Ball, 2016). Därför misstänkte jag att de temperaturerna som jag hade experimenterat fram för att få emaljen att flyta ut egentligen var väl höga. Därför sänkte jag temperaturen i ugnen under bränningen i föregående testserie med WG balls färger. Först sänkte jag temperaturen från 850°C till 840°C till den vita täckemaljen och till de andra färgerna sänkte jag till 820°C. Vid 820°C är temperaturen ca 805°C i mitten av ugnen. Trots sänkningen blev WG Ball emaljen lika sammansmält vid alla temperaturer. Emaljen blev ojämn men räknar nu med att det beror på torrströningstekniken och inte på för låg temperatur. Därför brändes denna serie också på 820°C. Emaljerna i denna testserie är alla smälta till ett jämnt och sammanhängande skikt,

utom där det är för lite emalj. Så jag tolkar det som att 820°C inställt på temperaturstyrningen i den här ugnen är lämplig temperatur.

Nedan följer utvalda provbitar ur testserien och resultatet redovisas i bildtexten. Bilderna är med WG Ball provbitarna. De andra visar liknande resultat och kan ses i bilagor tillsammans med data för alla bränningar.

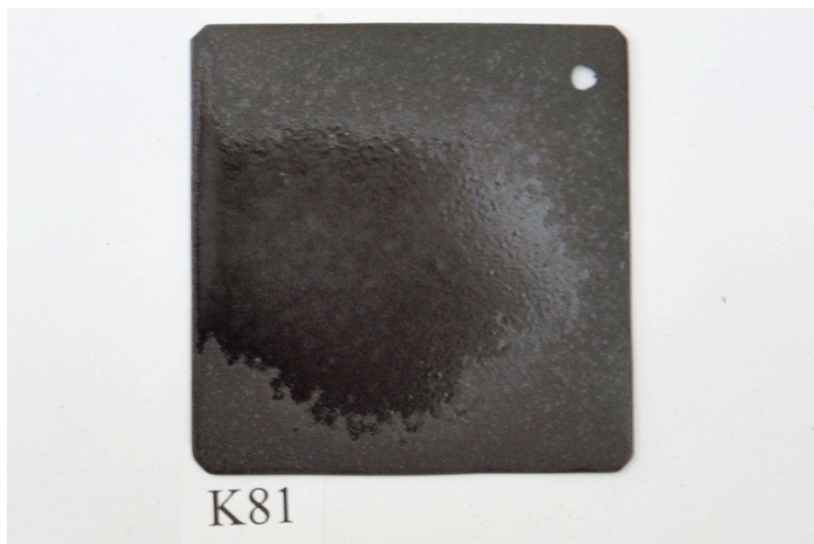


Bild 19. K81 sprutat en gång över med 0,8mm spruta. Total mängd torr emalj blev 0,30g emalj på en yta 60mm gånger 60mm. Resultatet är att det är tydligt för lite emalj. Stora delar får en matt yta. Prov bit K82 fick 0,35g Skillinge grund på 60mm gånger 60mm och den har också matta områden, dock inte lika mycket. Provbit K83 fick lite mer trots att målet var att spruta lika mycket på alla. Då blev det 0,84g Thompson emalj på 60mm gånger 60mm. K83 har inga matta områden utan verkar tillräckligt täckt.



Bild 20. K84 fick 0,59g WG Ball grundemalj på 60mm gånger 60mm. Den är sprutad två gånger direkt efter varandra, vått i vått. Inga tecken på att det skulle vara för lite emalj.

K85 som fick två lager Skillinge grund och 0,68g emalj visar inte några tecken till att det ska vara för lite emalj. Men den är betydligt mörkare än de bitar jag fick från Skillinge emalj som har emaljerats där med enbart grundemalj. K86 fick två lager med Thompson GC-16 grund och 0,9g emalj. Inga tecken på för lite emalj där heller.



Bild 21. K87 emaljerad med tre skikt sprutade direkt efter varandra vått i vått med WG Ball grund. 1,22g emalj på 60mm gånger 60mm och inga tecken på för lite emalj. K88 fick med tre lager 1,56g Skillinge emalj och den har fått blåfärgen som proven från Skillinge har. Dock något mörkare. K89 fick med tre lager, 1,25g Thompson GC-16 grund emalj. Den blev något ljusare än de andra två Thompson provbitarna.

Analys:

Jag tolkar resultatet så att ca 0,7g emalj är minimum. Alltså det som blev med två skikt med 0,8mm spruta. Men med tanke på att Skillinge provet först fick sin färg vid ca 1,5g så är det de som är lämplig mängd. Det går inte att ställa in sprutan så att en viss mängd emalj kommer på ytan. Hur mycket emalj som hamnar på ytan beror på flera faktorer. Hur stor öppning sprutmunstycket har, viskositeten på emaljslippen, trycket till sprutan, avståndet mellan sprutan och arbetsytan och inte minst vilken hastighet man drar sprutan över arbetsstycket. Så i slutändan måste den som håller i sprutan styra mängden. Nu vet jag i alla fall hur proven ser ut när det är lagom mycket inför kommande testserier.

4.1.10 Testserie med våtappliceringsteknik och färgprover på Thompson emaljer

För att testa mer med våtappliceringsteknik och samtidigt få en färgkarta över Thompsons emaljer så gör jag en testserie med alla Thompsons färger.

Metod:

Alla färger emaljeras en gång på grundemaljen och en gång på vit och grundemalj. Alla prov görs på K-stål, kallvalsad EN 10130 DC01 som är oxidfri och avfettad. Alla bitar är 60mm gånger 60mm. Alla grundemaljeras med grundemalj GC-16 som sprutas vått med 0,8mm spruta med överliggande kopp. För att påskynda torkningen av emaljen torkas de på ståljigger över en spisplatta. Hela serien omfattar provbit K90 till K129. Efter grundemaljen emaljeras K90 till K108 med Thompson 534 White. Men eftersom 534 White visade sig svårsprutad med 0,8mm munstycke och det med rengöringen av sprutan blir en del svinn av emalj, så penselapplicerar jag sista emaljskiktet. Sista steget i testserien innebär att endast emaljera två bitar åtgången med samma emalj därför hade det blivit mycket tid till att bara rengöra sprutan hela tiden och mycket mer spill av emalj. Alla prov är vägda före sista emaljering och efter att sista emaljskiktet har torkat. Då kan jag jämföra hur mycket emalj det ligger på olika prov. Det ger också bättre kunskap om hur mycket emalj som läggs på med penselteknik. Då blir det också en möjlighet att testa hur jämnt de olika emaljerna låter sig läggas med pensel. Alla bränningar görs i Naber emaljugnen i 4 minuter på 820°C. Bränndata och bilder på alla provbitar finns i bilagor.

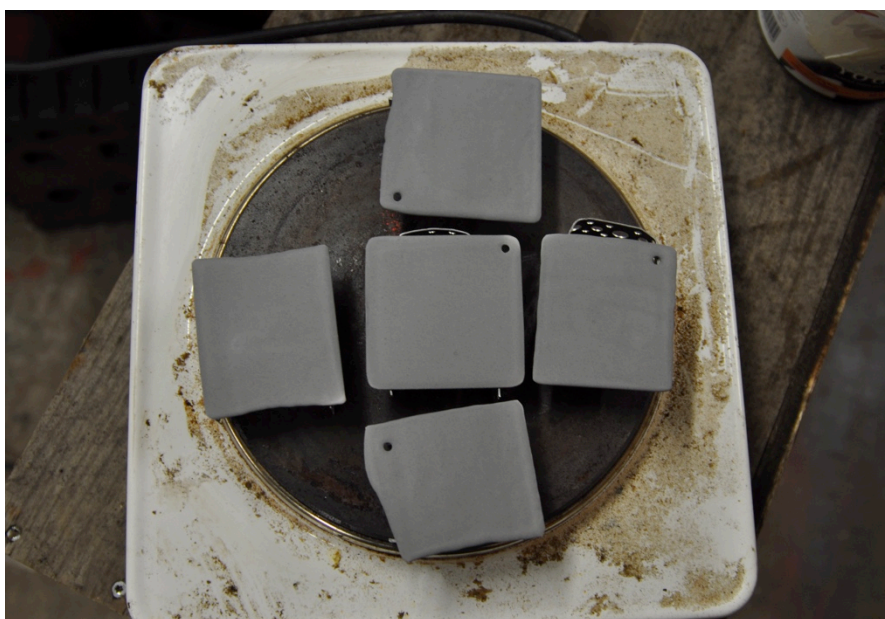


Bild 22. Torkning av provbitar med grundemalj. Torkningen görs på ståljigger så att torkningen inte går för fort men framförallt för att kunna flytta provbitarna utan att skada emaljskiktet.

Resultat:

Grundemaljen fungerade helt problemfritt att spruta men Thompson 534 White emaljen visade sig svår att spruta med 0,8mm munstycke. Flödet stoppade ofta upp och nålen i sprutan fick föras fram och tillbaka för att få emaljen till att flöda. En spruta med större munstycke hade nog fungerat bättre.

Att lägga ett jämnt fint lager med pensel visade sig tämligen svårt. Man kan tydligt se skillnad mellan de första och sista proven som jag gjorde. Efterhand gick det att få det jämnare men helt jämna i färgen blev inga prov. Emaljslippen är känslig för hur mycket vatten det är i den. Lite för mycket vatten och den rinner iväg. Är det däremot för lite vill emaljslippen inte flyta ut utan lägga sig i ränder och klumpar. Det går inte som med målarfärg att jobba fram ett jämt lager. Effekten av penslingen ger ett annat utseende än torrströning och kan användas i konstnärliga och estetiska syften. Det går säkert att bli skickligare i att lägga emaljen med pensel men önskar man en helt slät och jämn emalj så är det mycket enklare att spruta emaljen. Nedan följer bilder från utvalda provbitar ur testserien som visar typiska resultat eller speciella resultat från testserien. Bilder och bränndata för samtliga provbitar finns i bilagor.



Bild 23. K111 är emaljerad med Thompson GC-16 grund och därefter med 1,87g Thompson 937 Coral. Den är ett exempel på det jämnaste resultatet med penslad emalj i denna testserie.

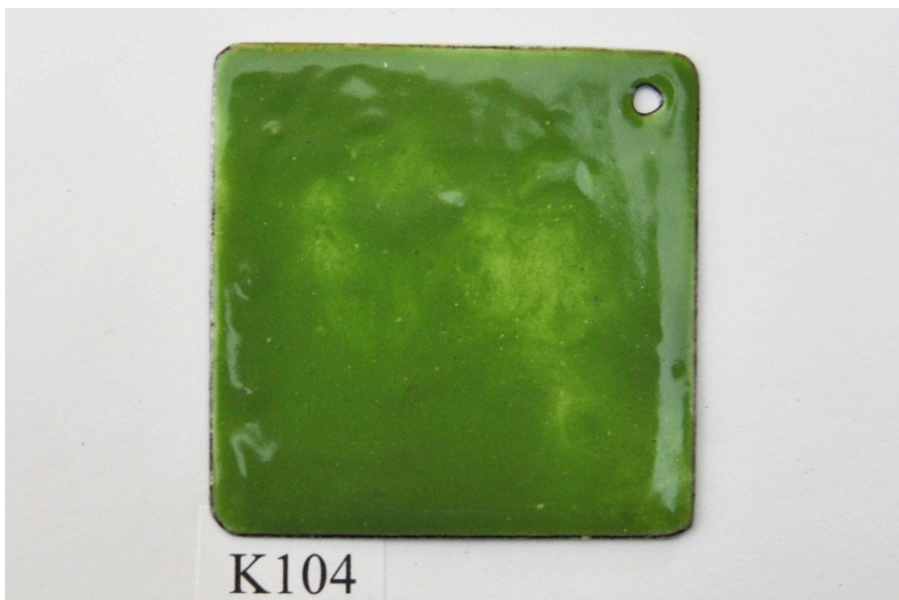


Bild 24. K104 är emaljerad med Thompson grund GC-16. Därefter Thompson 534 White och slutligen penslad med 1,37g Thompson 791 Hunter Green. Den är ett typiskt exempel på hur emaljen lägger sig med pensling



Bild 25. K102 är emaljerad med Thompson grund GC-16. Därefter Thompson 534 White och slutligen penslad med 1,49g Thompson 935 Robin Egg Blue. Den fick ett märkligt silveraktigt skimmer i ytan. Det syntes redan i burken med den våta emaljen. När emaljen rörs runt blir den helt jämn i färgen men får fort detta skimmer i ytan. När emaljen penslas på, är den jämn i färgen men innan torkning får den samma skimmer. K102 är kanske det tydligaste exemplet i denna serie med provbitar, men det finns fler om visar samma förändring. En orsak skulle kunna vara att emaljen är sammansatt av flera olika emaljer och att dessa skiktas sig när emaljen är vått. Det skulle vara intressant att testa att spruta emaljen i stället för att pensla den och att den då har mindre vatten så att emaljkornen inte

är lika rörliga. Alternativet är att pensla den mindre vatten, men då blir det svårt att få den att flyta ut till ett jämt skikt. Andra bitar fick matta fält eller ett mer vitt skimmer i ytan så att det verkar lite dimmigt.



Bild 26. K97 är emaljerad med Thompson grund GC-16. Därefter Thompson 534 White och slutligen penslad med 1,75g Thompson 788 Coca Brown. Den har fått ett matt fält över ytan. Det finns på en del andra prov också, men är tydligast på K97.

Analys:

Sammanfattningsvis så ger våtpenslade emaljskikt ett annat uttryck än våtsprutad och torrströdd. Med en del övning går det lättare att få jämnare skikt men så långt har det närmast varit omöjligt att få det lika slätt som med våtsprutning. Det var helt klart intressant att göra en testserie med så många provbitar eftersom det visar en mycket större brädd i hur de olika emaljerna beter sig. Ett stickprov ur serien skulle kunna ge en missvisande bild. Trots det behövs det mer experimentering för att få en bra och nyanserad bild av möjligheterna med våtapplicering med pensel.

4.1.11 Testserie med våtappliceringsteknik och färgprov på WG Ball emalj

Eftersom våtsprutning och våtpensling ger ganska annorlunda resultat jämfört med torrströning och det verkar tydligt att våtpensling kräver övning, så ska jag göra en ny testserie. Denna gång med WG Ball emaljerna. Men inte med alla färger utan endast med hälften av färgerna, de färger som jag har mer än endast en liten provmängd av.

Metod:

Alla färger emaljeras en gång på grundemaljen och en gång på vit och grundemalj. Alla prov görs på K-stål, kallvalsad EN 10130 DC01 som är oxidfri och avfettad. Alla bitar är 60mm gånger 60mm. All grund emaljeras med WG Ball grund som sprutas vått med 0,8mm spruta med överliggande kopp. För att påskynda torkningen av emaljen torkas de på ståljigger över en spisplatta. Alla prov är vägda före sista emaljering och efter att sista emaljskiktet har torkat. Detta för att kunna jämför hur mycket emalj det ligger på olika prov. Hela serien omfattar provbit K130 till K145 totalt 16 provbitar. Efter grundemaljering emaljeras K130 till K137 med WG Ball 12541 White. Det vita emaljskiktet sprutas också med 0,8mm munstycke för det har till motsättningen till Thompsons vita fungerat bra. Alla bränningar görs i Naber emaljugnen i 4 minuter på 820°C. En bit K138 sparas med enbart grundemaljskiktet för att visa hur de ser ut och som referens för grundskiktet under övriga test bitar. En bit K137 sparas med våtsprutad 12541 White. Jag gör inte en ny med våtpenslad vit. De övriga täckemaljerna våtpenslas på samma vis som i föregående testserie med Thompson emaljen.

Resultat:

Provbitarna blev generellt jämnare i färgen och bättre täckta än i föregående testserie med Thompson emaljen. De våtpenslade blev dock inte så jämna som de våtsprutade. En bit K143 fick en skada i det torra men obrända emaljskiktet. Så tekniskt sett blev de s-grafitto men utan avsikt. Nedan följer bilder av utvalda provbitar ur testserien med diskussion kring resultatet. Bilder på samtliga provbitar och data över alla bränningar finns i bilagor.



Bild 27. K136 är emaljerad med 2,46g 12555 Royal blue från WG Ball. Den är även om det ser ut på bilden här som att den är något vit eller ojämn i mitten, ett av de jämnaste

proven. Den är lika jämn över hela ytan som den ser ut som i övre vänstra hörnet.

Pigmentet innehåller antagligen koboltoxid och det är ett mycket färgstark pigment som bidrar till god täckförmåga. Det finns en liten grop eller krater på övre delen av provbiten. Det tolkar jag som en smält rest efter en sprängd gasblåsa.



Bild 28. K137 är emaljerad med WG Ball 12541 White ovanpå grundemalj. Den är sprutemaljerad och emaljskiktet är väldigt jämt och slätt.



Bild 29. K140 är emaljerad med WG Ball 12545 Black direkt på grundemalj. I övre del av bilden syns en vit linje eller dimridå. Det finns på andra prov också men det är väldigt tydlig på det svarta provet på grund av kontrast mot det svarta. Den syntes redan under torkningen av den våta emaljen. Jag tolkar det så att något skiljs ut eller separerar från emaljen och lägger sig på toppen.



Bild 30. K144 emaljerad med 1,91g WG Ball 12557 Orange direkt på grundemalj. Till skillnad mot K136 ovan så ser den mycket jämnare ut på bilden än som jag ser den i verkligheten. Då är den mer melerad i färgen.



Bild 31. K145 är emaljerad med 3,42g WG Ball 12546 Yellow ovanpå grundemalj. Här syns den melerade täckemaljen bättre på bild än på bilden av K144. Det pigmenterade glaset ligger inte jämnt fördelat i emaljskiktet och täcker inte grundemaljen helt trots att emaljskiktet är tjockt.

Analys:

Resultatet visar samma tendens som föregående testserie med Thompson emaljen. Den vita täckemaljen fungerade dock bättre att spruta än motsvarande från Thompson. Resultatet från sprutningen visar att det är relativt enkelt att få mycket släta och i färgen jämna emaljskikt med sprutning. Med övning blir de penslade emaljskikten jämnare men det är

samtidigt stor variation mellan olika emaljer i hur lätt det är att få lagt emaljen jämnt. Flera emaljer ser ut att vilja skilja sig med varierande färger som resultat. Detta är en effekt som givetvis kan användas i konstsmides sammanhang för att medvetet uppnå det resultatet. Vill man ha ett helt jämnt och slätt resultat är det dock betydligt enklare att uppnå det med våtsprutning. Utan att kunna verifiera med någon mätmetod och med förbehållet att serien med WG Ball gjordes efter serien med Thompson, så var det enklare att få jämna emaljskikt med jämn färg med WG Ball emaljen än med Thompson emaljen. Flera av provbitarna fick i denna serie med penselapplicerad emalj fick tämligen tjocka lager emalj, vilket också kan påverka resultatet. All data och bilder för de olika provbitarna finns i bilagor.

4.2 Huvudstudie med vidhäftning av tre emaljtyper till nio ståltyper med olika påföringsmetoder och ytor

Efter att ha kommit så långt i experimenteringen framstår vidhäftningen av olika emaljer till olika ståltyper som ett centralt problemområde för masterprojektet. För det har stor betydelse för den vanlige konstsmiden om man enbart kan arbeta med dyrt specialstål för emaljering. Ett stål som bara finns tillgängligt på några få ställen i Europa. På senare år har dock Armco stål blivit lättare tillgängligt i Sverige och Norge för smeder, genom gemensamma beställningar i smedföreningarna. Dock finns Armco stålet och purusFE stålet i ett ganska begränsat urval av dimensioner. Har man som smed inte tillgång på lämplig dimension eller den är slut måste man vänta kanske flera år till nästa beställning. Så om det är fullt möjligt att använda andra standardstål istället, som är lätt tillgängliga är det väldigt intressant. De tidigare testserierna med vidhäftning till olika stål har visat att det är fullt möjligt att få bindning till andra stål än de med väldigt låg kolhalt. De flesta fackböckerna anger att det är olämpligt att använda andra stål än de som är tillverkade specifikt för ändamålet, med tillräckligt låg kolhalt (Andrews et al., 2011, pp. 148-150; Ellis, 1997, p. 14; Maskall & White, 1986, pp. 52-54; Wratil, 1984, pp. 44-46). Andrews et al. (2011) är den enda som anger något mer specifikt angående de varmvalsade stålen. De används där hög styrka i stålet krävs, så som med trycktankar. De varmvalsade stålen har dock en hög risk för fishscaling speciellt när det emaljeras på båda sidor (Andrews et al., 2011, p. 149). Thompson avråder tydligt från att använda stål med högre kolhalt än 0,10 % (Ellis, 1997, p. 14). Jag har ännu inte hittat någon bra förklaring på varför det inte fungerar att emaljera på standard varmvalsat konstruktionsstål till exempel S235 som har en kolhalt på maximalt 0,17 % (BE Group Sverige AB, 2016), men det fungerar att emaljera på

gjutjärn som har en långt högre kolhalt. Thompson Enamel uppger att lämpligt gjutjärn har en kolhalt på mellan 3,25 och 3,35 % kol (Ellis, 1997, p. 14).

Därför ska jag göra en komplett serie för att kartlägga hur de olika emaljerna fungerar med olika stål. Inga stål är exakt tillverkade, utan tillverkade innanför en tolerans. Det betyder att jag inte vet den exakta kemiska sammansättning utan endast att stålet har mindre än angivna maxvärden för den ståltypen. Därför räcker det inte med ett prov för att kunna konstatera att en ståltyp fungerar. Naturligtvis hade det varit mycket relevant för projektet att få analyserat stålets kemiska sammansättning för att kunna dra klarare slutsatser. Det kan ju vara så att just det provet ligger lågt innanför toleransen av någon anledning och därför fungerar men andra stål som är märkta med samma typ inte fungerar. Därför utvidgar jag serien med fler ståltyper. En analys av exakta kolhalter i de olika stålen ligger utanför var som är möjligt att genomföra innanför den här undersökningen. Armco och PurusFE stålen är med, för det är de enda stålen jag vet om som finns i stångstål och inte endast tunnplåt och som ligger innanför gränsvärdena med kol i stålet. Thompson anger att lämpligt lågkolstål för emaljering har en kolhalt mellan 0,02-0,04 % kol och då ska stålet täckas med en grundemalj. Om stålet är däremot är ett Decarburized stål, avkolat stål, eller ett Interstitial free stål så kan täckemaljer läggas direkt på stålet utan grundemalj (Ellis, 1997, p. 13). PurusFE stålet har en maximal kolhalt på 0,010% och typiskt produktionsvärde på 0,003% kol (HKM Stahl GmbH, 2015). Armco stålet finns i olika varianter och beroende på grad innehåller den max 0,020 % till 0,010 % (AK STEEL INTERNATIONAL, 2016). Båda stålen är alltså under området för Thompsons lågkolstål. Decarburized stål har en kolhalt på 0,005%. I interstitial fria stål är allt resterande kol låst i stålet med olika ämnen som är starka karbidbildare (Andrews et al., 2011, pp. 146-147).

Skillinge stålet som är ett djupdragningsbart emaljeringsstål ska vara med i huvudundersökningen. Den exakta beteckningen och kemiska sammansättningen är okänd för det stålet men jag har i den första vidhäftningstestserien gjort en utredning och antar att det antingen är ett finare EN 10130 eller ett emaljeringsstål EN 10209. Med en kolhalt mellan 0,01 % och 0,08 % kol. Även om jag inte vet exakt vilket stål Skillingestålet är, så används det av Skillinge emalj så jag klassar det som ett emaljeringsstål. Provbitarna med Skillingestålet är stämplat med S.

Nästa stål som är med i testserien är det vanligast förekommande kallvalsade stålet EN 10130 DC01 som har en högre kolhalt med maximalt 0,12 % kol (Salzgitter Flachstahl GmbH, 2014a). Även om detta stål är ganska enkelt tillgänglig för smeder finns det bara som de andra kallvalsade stålen som tunnplåt och inte som stång eller grövre plåt. EN

10130 DC01 stålet har beteckningen K genom hela undersökningen och det är stämplat på alla provbitar.

Eftersom alla stål tillverkas innanför en tolerans och det varmvalsade stålet EN 10025 S235 är det mest lättillgängliga stålet så är det intressant att ta med två provbitar av den typen. De har beteckningen V och V2. Alla V är från samma stålstång alltså samma kemiska sammansättning. V2 provbitarna är från en annan stålstång från ett annat parti så den har inte exakt samma kemiska sammansättning men alla V2 är från samma stång. S235 har en kolhalt på maximalt 0,17 % kol (BE Group Sverige AB, 2016).

Det hade så klart varit intressant att få med ett stål som har just 0,17 % kol, för om det fungerar på det stålet så ligger alla stål i typen S235 precis innanför. Nu är all tillverkning i Norden av armeringsjärn sammanslagen till en producent och ett stålverk i Mo i Rana. Tillverkaren där är spanska Celsa steel. Deras armeringsjärn håller ca 0,17 % kol och är därför en bra representant för toppen av S235 toleransen (Celsa steel service, 2016). Armeringsjärnet från Celsa steel i testserierna får beteckningen C och provbitarna är märkta med stämplat C på baksidan.

Eftersom äldre ståltypen ofta beter sig annorlunda är det intressant att ta med en provbit typ av den sorten. GS-stålet som har varit med i tidigare testserier är också med i huvudstudien. Det är ett äldre stål från ett staket och när man slipar i det stålet så visar gnistorna²⁵ att det tydligt avviker från moderna stål och liknar många av de äldre stålen jag har slipat i.

Men exakt var armeringsjärnet ligger i kolhalt vet jag inte och därför är det också intressant att ta med ett stål som klart ligger över alla gränser för toleranserna för S235 och som kan visa vad som händer om man går ännu högre upp. Sista stålet är därför ett fjäderstål med ca 0,7 % kol. Alltså långt över de andra stålen. Det stålet har fått beteckningen F men bitarna är inte stämplade med F därför att stålet är så hårdt att det inte går att stämpla kallt.

Totalt är det nio ståltypen med olika kolhalter i huvudtestserien. Jag har tillgång på tre grundemaljer, från Thompson, WG Ball och Skillinge. Dessa testas alla med alla typer stål.

²⁵ Ett gnistprov är ett enkelt prov för att avgöra stålets kemiska sammansättning. Det kräver träning och helst referensbitar med känd kemisk sammansättning. Provet görs genom att slipa på stålet och observera hur gnistorna ser ut. Om stålet har låg kolhalt blir gnistorna som långa gula streck. När kolhalten ökar så kommer gnistorna att mer och mer explodera mens de flyger i väg och bilda nya gnistor. Med ökande kolhalt blir det mer fyrverkeri (Bergland, 2000, pp. 56-57). När det gäller äldre ståltypen så är min erfarenhet att de ger betydligt rödare gnistor och mindre explosioner på slutet.

För att göra testet mer realistiskt läggs också en täckemalj på alla proven. För att göra det enkelt och tydligt skiljt färgmässigt från stålet och grundemaljen, emaljerar jag alla med vit täckemalj.

När det gäller appliceringsmetod framstår det så långt i arbetet som att det är två lämpliga vägar att gå. Antingen applicera vått och kallt, till exempel med doppning, sprutning eller pensling. Eller så applicera emaljen torr och på varmt stål genom att strö den över arbetsstycket. Den kalla och torra appliceringsmetoden som jag har experimenterat med tidigare blir inte med och det reder jag ut om senare i texten.

Eftersom oxidskiktet i de tidigare testserierna har visat sig ha stor betydelse för hur emaljen fäster till underlaget så framstår det som lämpligast att ta bort oxidskiktet/glödskalet när man arbetar kallt och vått. Lämpligaste metoden, i en smedja, att ta bort oxiden är att blåstra bort den med blästermedel. Därför blåstrar jag alla prov som ska emaljeras med våt och kall metod, i blästerskåp. Tidigare i arbetet hade jag endast tillgång till punktbläster men nu fungerar det nya blästerskåpet och därför använder jag det. Det betyder att alla blåstrade provbitar blir blåstrade över hela ytan.

När kolhalten är riktigt låg som med avkolade/decarburized stål och intertitial fria stål så är det möjligt att emaljera utan grundemalj. Därför gör jag också testserier med täckemalj direkt på stålet. En serie med endast vitt. Eftersom de olika täckemaljerna beter sig olika är ett prov lite magert för att sedan kunna dra några tydliga slutsatser. Att testa alla färger blir mycket arbete på alla ståltyper och inte nödvändigt för att kunna dra slutsatser om vidhäftningen, men en extra serie tas med. De blå täckemaljerna innehåller ofta koboltoxid som är ett kraftigt färgpigment, men det fungerar också som bindoxid till stålet. Därför blir den andra testserien med täckemalj direkt på stålet i en annan färg en blått. Det blir grönt, en representant från WG, Ball 12554 Dark Green och en från Thompson 791 Hunter Green. Från Skillinge har jag bara vitt och där blir det gröna färgprovet uteslutet i Skillinge testserien.

Den andra appliceringsmetoden som verkade rimlig att följa är torrströdd på varmt stål. Med kallt stål fastnar inte emaljpulvret på stålet och därför kan man bara lägga emalj på horisontala ytor, för att sedan bränna och lägga på andra ytor som då hålls horisontala. Då blir de ytor som inte var horisontala och täckta med emalj oxiderade under bränningen. Att kunna emaljera tredimensionella objekt, så som normala smidesföremål, torrt, utan oxid under emaljen, verkar svårt att lösa praktiskt. Därför blir en testserie med torr emalj på kallt oxidfritt stål uteslutet i huvudtestserien. Det är dessutom experimenterat med i tidigare testserier i projektet. Med torr och varm metod strös emaljen på varmt stål, då

smälter emaljpulvret fast i ytan. När stålet är omkring 800°C eller mer smälter emaljen direkt till ett sammanhängande emaljskikt. Är temperaturen lägre fastnar emaljpulvret men smälter inte ut. Är stålet för kallt faller pulvret av. Den metoden skriver Ellis (1997) också om och att detta är en lämplig arbetsmetod för emaljering på järnsmide, därför ska den metoden vara med i huvudundersökningen. Metoden kallas för ”hot dusting” och är en modifierad variant av den traditionella gjutjärnsemaljeringsmetoden (Ellis, 1997, p. 14). Här är det så klart relevant att både testa med och utan grundemalj. I första hand testar jag med grundemalj för med opaka emaljer finns det egentligen ingen anledning att utesluta grundemaljen. Eftersom jag inte har gjort någon testserie med varm ströteknik så gör jag en liten testserie med varmströning innan hela testserien med varmströning i huvudstudien. Med varmströning testas både WG Ball och Thompson men inte Skillinge för den har jag bara i färdigblandad våt form.

Problemställningen för huvudundersökningen är en specificerad variant av själva avhandlingens problemställning.

Vilka kombinationer av nio ståltyper med och utan oxiderad yta, två appliceringsmetoder och tre emaljfabrikat ger användbar vidhäftning för emaljering på konstnärligt järnsmide?

Totalt testas 9 ståltyper och det blir 10 testserier vilket ger totalt 90 provbitar.

Sammanfattningsvis testas följande ståltyper.

Purus FE märkt **P** och med en kolhalt på **0,010 %**.

Armco stål märkt **A** och med en kolhalt på **0,010 till 0,020 %**.

Emaljeringsstål från Skillinge emalj märkt **S** och med en kolhalt på **0,01 till 0,08 %**.

Standard kallvalsat stål, EN 10130 DC01 märkt **K** och med en kolhalt på **0,12 %**.

Två representanter för standard varmvalsat stål, S235 märkt **V** och **V2** med en kolhalt på **0,17 %**.

Armeringsjärn från Celsa steel märkt **C** och med en kolhalt på ca **0,17 %**.

Ett äldre stål märkt **GS** med okänd kolhalt.

Fjäderstål märkt **F** och med en kolhalt på ca **0,7 %**.

Målsättningen är att alla bitar ska vara 6cm gånger 6cm men där utgångsmaterial gör det svårt att få så breda plåtar får de bli mindre. Alla provbitar i huvudstudien blir, liksom i de tidigare studierna, efter smide till plåt, sågade till önskad längd och bredd. Därefter blir

kanter slipade och hål borrar i ena hörnet för att möjliggöra upphängning. Alla blir stämplade med bokstav för ståltyp och löpnummer för identifiering av specifika provbitar. Provbitarna som ska våtemaljeras blir därefter blästrade på framsidan med kiselkarbid så att ytan är helt oxidfri. K och S stål som redan är oxidfria blir dock inte blästrade. All våtemaljering görs med 0,8mm spruta och provbitarna får torka forcerat över spisplatta för att reducera risken för rost under torkningen. Alla våtemaljerade provbitar blir brända i Naber emaljugn i 4 minuter på 820°C.

De provbitar som varm- och torremaljeras blir värmda i gasässa/gasugn. För att inte behöva hålla i bitarna under värmningen blir provbitarna placerade på en enkel ståljigg. Provbitarna hanteras under emaljeringen med en tång. När biten är varm inne i ugnen tas den ut och emaljen strös på med en tesil under utsugskåpa. När lagom mängd är fördelad över ytan flyttas provbiten tillbaka för värmning i ugnen till emaljen har smält till ett jämt skikt. Processen upprepas om flera lager ska läggas. Inga bitar blir blästrade, utan endast de som bedöms ha ett tjockare oxidskikt blir borstade för att avlägsna en del av oxiden.

All data för bränningarna blir registrerade med protokoll och efter emaljering blir alla bitar fotograferade. Bilder och uppgifter om alla bränningar finns i bilagor.

För att analysera vidhäftningen ska jag testa hur bra emaljen sitter, med ett knäckprov. För att göra resultatet tydligare och mer jämförbart så vil jag bedöma resultatet av knäckningen efter ett system. I de tidigare testserierna har jag inte bedömt vidhäftningen efter något system utan bara konstaterat om emaljen lossnat i flack och lämnat stålet rent eller om stålet är täckt med emalj efter knäckning. För analysen av huvudundersökningen ska jag höja standarden och bedöma efter ett system.

Jag har valt att bedöma resultatet utifrån The institute of Vitreous Enamellers, Visual classification of adhesion of vitreous enamel to steel. Metoden har fem klasser med dels en beskrivning av hur emaljskiktet brister och fyra bilder av ett typiskt prov för varje klass. De fyra bilderna står i fyra serier för fyra olika typer emalj. Första serien är konventionell grundemalj. Andra serien Pickle Free grundemalj, alltså grundemalj utan etsningsbad för stålet. Tredje serien är 2 coat – 1 fire, tvålager emalj med endast en bränning. Fjärde och sista typen emalj är direct- on white, vit täck emalj utan grundemalj. Metoden bygger på att provbitarna blir kontrollerat deformerade. Provbitarna i kartan för visuell bedömning har blivit deformerade i en jigg med en fallande vikt. På så vis blir alla provbitar utsatta för samma kraft och deformation. Samma metod måste dock inte användas, utan, som det står i instruktionen för metoden, kan alternativa metoder för deformationen användas om de ger en reproducerbar deformation. Deformationmetoden med fallande vikt är inte direkt

användbar för att analysera mina provbitar. Det bygger på att man jämför identiska stålbitar med olika emaljer på. Med lik tjocklek och med lika mekaniska egenskaper blir bitarna deformerade lika mycket, men provbitarna i denna undersökning är smidda från olika stångmaterial och varierar därför betydligt i tjocklek. Även om man gjorde arbetet att med en planslipa, slipa fram exakt lika tjocka provbitar så fungerar det ändå inte, därför att de olika stålen har varierande mekaniska egenskaper. De mjuka närmast kolfria stålen kommer deformeras mycket medan fjäderstålet kanske inte alls deformeras när de utsätt för samma kraft. Jag anser att det inte är nödvändigt att deformera alla bitar på ett identiskt sätt för att kunna göra en bedömning och analys av emaljens vidhäftning. Metoden bygger på en ren visuell bedömning av hur emaljskiktet har spruckit och lossnat från stålet. Jag ska därför böja alla provbitar tills emaljskiktet går sönder och sedan klassificera proven utifrån referensbilderna och utifrån beskrivningarna av hur emaljskiktet ser ut i de olika klasserna efter deformation.

Klasserna har följande namn och beskrivningar. Jag har behållit de engelska beskrivningarna för att inte tappa den ursprungliga betydelsen i en översättning.

Klass 1- Excellent : The impact surface is completely covered with enamel although fracturing will have occurred.

Klass 2- Very good : The impact surface is almost completely covered with fractured enamel with some slight evidence of the substrate visible.

Klass 3- Fair : The impact surface still has some coverage with fractured enamel, but large areas of the substrate may be visible.

Klass 4- Poor : The impact surface is almost completely bare with only residual traces of fractured enamel.

Klass 5- Bad : The impact surface is completely bare with a sharp delineation of the enamel – substrate interface.

Källa (The Institute of Vitreous Enamellers, 2007)

Utöver att registrera klassen enligt The Institute of Vitreous Enamellers, så har jag tänkt registrera hur mycket böjning som krävdes för att emaljen skulle lossna. De gör jag genom att mäta vinkel som provet är böjt i och radien på böjningen. Klarar ett prov en större böjning med en mindre radie på böjningen har emaljskiktet klarat en större deformation innan emaljen brister.

Data över de olika bränningarna och bilder på alla prov före och efter knäckning finns i bilagor. Där är de listade i alfabetisk och numerisk ordning, det vill i praktiken säga att de

är ordnade efter ståltyp. I genomgången här blir provbitarna och resultaten i stället genomgångna efter testserie. Utvalda provbitar som visar specifika resultat är med i texten tillsammans med en beskrivning av resultatet.

4.2.1 Vidhäftning med våtapplicerad WG Ball grund och vit

Alla provbitar kom ut ur emaljugnen med helt slät och jämn emalj. Enda undantaget var V3 som har två blåsor. Jag hade förväntat problem med åtminstone fjäderstålet, F1, eftersom den ligger långt över de rekommenderade i kolhalt. Alla bitar knäcktes med skruvstycke och skiftnyckel tills emaljen brast. De flesta gjorde stort motstånd och lossnade efter avsevärd deformation med en smäll där emaljen sprutade iväg. K och S stålet visade bäst vidhäftning vid visuell bedömning. Jag bedömer båda som Klass 1 för hela deformationsområdet är täckt med ett lager emalj, bortsett från ett litet område på S3. På de andra provbitarna i serien sitter emaljen fint och de andra får klass 2 utom fjäderstålet som får klass 3.



Bild 32. F1 emaljerad med WG Ball grundemalj och 12541 White. Trots hög kolhalt syns inga blåsor och inga tecken på att vilja lossna av sig själv. Efter knäckning är de mest deformerade delarna nästan fria från emalj men utanför den mest deformerade zonen är stålet fortfarande helt täckt med grundemalj. Den får klass 3.



Bild 33. S3 emaljerad med WG Ball grundemalj och 12541 White. Hade en perfekt yta före knäckning och efter knäckning är närmast hela deformationszonen täckt med uppspräckt emalj. Jag bedömer den som klass 1. Jämför med F1 ovan och framförallt med S4 i nästa serie.

4.2.2 Vidhäftning med våtapplicerad WG Ball vit utan grundemalj

De provbitarna med lägst kolhalt, A P K och S samt även GS kom släta ur ugnen. De med högre kolhalt var alla mer eller mindre bubbliga. Bubblorna tolkar jag som koldioxid som frigörs från stålet och bubblar genom emaljskiktet. Bubblorna har ett tunt glasskikt på toppen som lätt går sönder så även om man skulle önska uttrycket ur ett konstnärligt ändamål så blir det massor av vassa kanter. Så i utgångspunkt är de med högre kolhalt, som de vanliga varmvalsade S235 stålen oanvändbara med denna metod.

Knäckningen av provbitarna visade intressanta resultat. Provbitarna S och K som var lika oxidfria som de övriga bitarna, men hade en slät yta istället för de andras blästrade yta, avvek. Där lossnade emaljen ganska fort och nästan hela emaljytan föll av i stora flak. Skiljet är helt rent så det finns inga rester av emalj kvar där emaljen har lossnat. Skiljet är därför också helt skarp och båda bitarna får helt klart klass 5, sämsta klass. Den vita täckemaljen WG Ball 12541 White ser ut att ge svag kemisk bindning till grundmetallen. De andra proven med blästrat stål och med slät yta på emaljen, höll betydligt bättre på emaljen. Här lossnade emaljen inte i flak och inte utanför deformationsområdet. Det tolkar

jag som att här syns tydligt betydelsen av mekanisk bindning till stålet. Skillnaden ligger i att emaljen smälter in i alla hacken i ytan griper mekaniskt tag. Provbitar A, P och GS får klass 3 det är möjligtvis användbart men jag räknar med att eftersom den kemiska bindningen är så dålig blir detta betraktat som för dåligt i industriellt sammanhang.

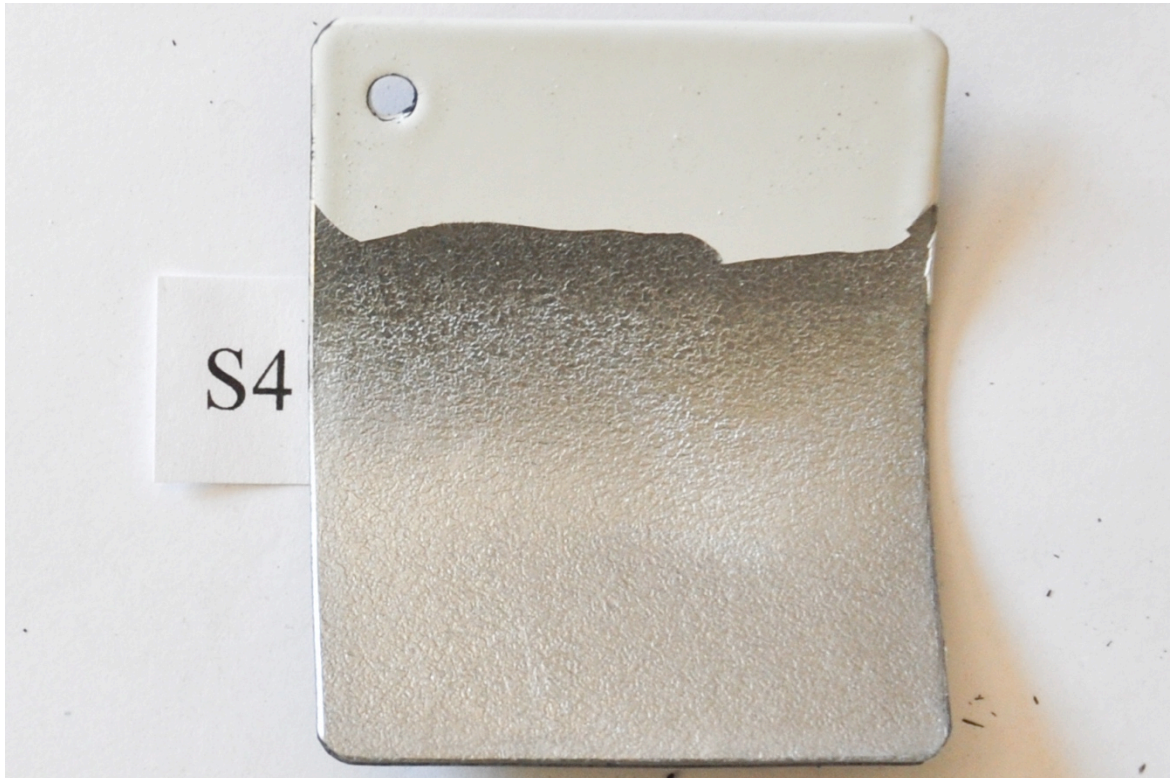


Bild 34. S4 emaljerad med WG Ball 12541 White direkt på stålet utan grund. Emaljen har knäckts loss från stålet och lämnat metallen emaljfri långt utanför deformationsområdet. Jag bedömer den som en klar klass 5. Jämför med S3 ovan där emaljen sitter bra till underlaget.



Bild 35. A5 emaljerad med WG Ball 12541 White direkt på stålet utan grund. Visar den släta ytan med de låg kolhaltiga stålen och hur mycket bättre emaljen sitter på den blåstrade ytan jämfört med den helt släta. Jämför med S4.



Bild 36. V4 emaljerad med WG Ball 12541 White direkt på stålet utan grund. Den visar hur emaljen blåser upp sig och blir bubblig när stålet innehåller mera kol. Emaljskiktet

knäcks ganska fort på grund av att emaljskiktet inte är massivt, men emaljen lossnar inte i stora flak som med S4 utan sitter ungefär som på A5.

4.2.3 Vidhäftning med våtapplicerad WG Ball grön utan grund

Resultatet från denna testserie var ganska likt det från föregående serie med vit WG Ball emalj. Stål med låg kolhalt kom släta ut ugnen. Det gäller A, P, K, men också denna gång GS. Jag vet inte kolhalten på GS-stålet men i denna och förra testserien ser inte GS ut att släppa ifrån sig gaser. Däremot är det märkligt nog en del blåsor på S stålet. Vid knäckning släpper de släta stålen K och S emaljen på motsvarande vis som med WG Ball vit.



Bild 37. S5 emaljerad med WG Ball 12554 Dark Green direkt på stålet utan grund. Emaljen släpper rent från stålet och visar att det är lika dålig bindning till stålet som med det vita provet S4. Den får också Klass 5 vilket också K148 också får. Det kanske mest intressanta med detta prov är att det finns ganska mycket blåsor i emaljytan. S5 var det enda stålet av de lågkolhaltiga som blev bubblig.



Bild 38. GS8 emaljerad med WG Ball 12554 Dark Green direkt på stålet utan grund. Den har intressant nog betydligt mindre blåsor än S5, som är ett riktigt emaljstål. Det finns dock små porer efter nästan igensmälta blåsor. Den får Klass 3.



Bild 39. A6 emaljerad med WG Ball 12554 Dark Green direkt på stålet utan grund. Ytan är hel men med några försumbara små prickar i emaljen. Jämför med V8 nedan som har blåst upp sig över hela ytan.



Bild 40. V8 emaljerad med WG Ball 12554 Dark Green direkt på stålet utan grund. Ytan är helt täckt med blåsor och vid försök på att knäcka provet krossas det uppblåsa emaljskiktet direkt. Det är liknande uppblåst yta på V2, C och F proven.

4.2.4 Vidhäftning med våtapplicerad Skillinge emalj grund och vit

Resultatet från denna testserie är väldigt likt testserien med WG Ball grund och vit. K149 sitter allra bäst och emaljen släppte inte förrän provet var böjt 80° och i en snäv radie på ca 8mm. Hela deformationsområdet är täckt med emalj så det är en solklar Klass 1. De andra proven gav också bra resultat och inga prov hade blåsor.



Bild 41. K149 emaljerad med Skillinge grundemalj och titandioxid vit från Skillinge emalj. Här sitter emaljen väldigt bra. Krävdes böjning till 80° för att emaljen skulle ge sig och hela ytan är täckt med emalj efteråt.

4.2.5 Vidhäftning med våtapplicerad Skillinge emalj vit utan grund

Även här liknande resultat som med motsvarande testserie med WG Ball. Små spår av blåsor i de med minst kol och helt uppblåsta ytor på de provbitarna med mycket kol innehåll. Jämfört med WG Ball vit utan grund så är det mer blåsor på alla bitar i serien med Skillinge.



Bild 42. K150 emaljerad med Skillinge titandioxid vit utan grund. Det är dålig vidhäftning till stålet och emaljen släpper i stora flak även långt utanför deformationsområdet. Klar Klass 5. Jämför med prov K149 som är med grundemalj.



Bild 43. A8 emaljerad med Skillinge titandioxid vit utan grund. Det bästa provet i denna testserie. Spåren av blåsor är oväsentliga. Dock inte så bra bindning som med grundemalj. Jämför med V10 som har högre kolhalt.



Bild 44. V10 emaljerad med Skillinge titandioxid vit utan grund. Hela ytan är uppblåst och många blåsor spricker av sig själv och flack av emalj faller av. En i min bedömning, helt oanvändbar stål och emalj kombination. Jämför mängden blåsor med A8 som har annat stål och med V9 som är med grundemalj.

4.2.6 Vidhäftning med våtapplicerad Thompson grund och vit

Resultatet från denna testserie liknar i stor grad resultatet från både testserien med WG Ball med grund och testserien med Skillinge med grund. Inga blåsor eller tecken på att emaljen skulle släppa. Alla prov släta och jämna. Resultatet från knäckningen är att alla sitter ok. Alla får klass 1 till 3. Mest intressant är K och S provet. Emaljen sitter här länge och det krävs stor böjning med liten radie för att emaljen ska ge sig, men när den har släppt är metallen helt ren från emalj i den centrala delen av deformationszonen. När emaljen väl brister under böjningen av provbiten så lossnar den med en högljudd smäll.

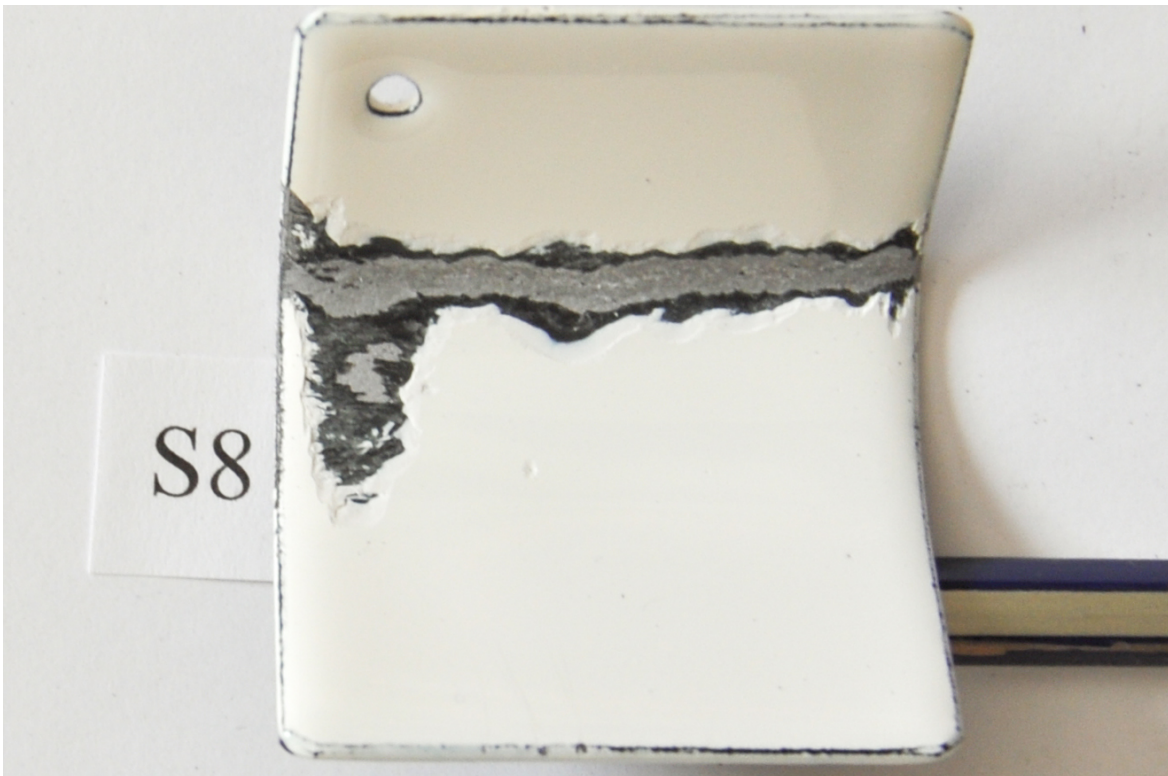


Bild 45. S8 Med Thompson grundemalj GC-16 och 533 White. Det krävdes 84° böjning för att emaljen skulle släppa men när den väl gav sig blev centrum området av deformationszonen helt fri från emalj. Enligt klassificeringsbeskrivningen skulle den då få klass 4 men det är samtidigt tydligt att emaljen sitter bra på underlaget.

4.2.7 Vidhäftning med våtapplicerad Thompson vit utan grund

Resultatet från denna testserie liknar i stor grad resultatet från både testserien med WG Ball vit utan grund och testserien med Skillinge vit utan grund. Prov med låg kolhalt har inga blåsor, inte heller GS. Prov med högre kolhalt har blåsor men inte lika mycket som provbitarna i serien med Skillinge vit utan grund. K och S provet med slät och inte blåstrad yta släpper emaljen helt ren från ytan, även utanför deformationsområdet på motsvarande vis som K och S proven i serien med Skillinge och WG Ball emaljer. De låg kolhaltiga stålen med blåstrad yta ger tillräckligt bra resultat för att vara användbart. De andra gav för dåligt resultat för att vara användbart enligt min bedömning.



Bild 46. GS12 emaljerad med Thompson 533 White utan grund och med blåstrad yta. Inga blåsor eller synliga tecken på att vilja spricka eller lossna. A, P, K och S gav lika släta ytor. Inte väldigt bra vidhäftning vid knäckning men tillräckligt för att vara användbart om man skulle önska att undvika grundemalj.

4.2.8 Vidhäftning med våtapplicerad Thompson grön utan grund

Resultatet från denna testserie liknar i stor grad resultatet testserien med WG Ball grön utan grund. Det var dock inte möjligt att spruta denna emalj med 0,8mm munstycke. Emaljen stoppade upp direkt hela tiden och var svår att få igång sprutan igen. Därför är alla prov i denna serie penslade med emalj. Under pensling syntes det tydligt att det finns större korn, glasbitar i emaljen och det var helt säkert de som fastnade i munstycket. Bitarna syns också efter bränningen som ljusare prickar i emaljskiktet. Alla prov har blåsor i ytan men mer i de med högre kolhalt i stålet. A och P stålet har nästan inga eller försumbara spår av blåsor. V, V2, C och F har hela emaljskiktet uppblåst.



Bild 47. S10 emaljerad med Thompson 791 Hunter Green utan grund. Det är bubblor över hela ytan. Det är även möjligt att se de större kornen som blockerade sprutan som fläckar i ytan. Knäckningen visar att det är dålig vidhäftning till stålet.

4.2.9 Vidhäftning med varm- och torrapplicerad Thompson grund och vit

Eftersom jag inte tidigare hade experimenterat med varm och torrströningsteknik, så gjorde jag först en mindre testserie med sex provbitar för att testa tekniken. I den inledande serien testades endast S och K-stål med Thompson och WG Ball emalj. Skillinge emalj är inte med för jag har inte den emaljen i torr form. En av de största utmaningarna visade sig vara att hålla temperaturen tillräckligt låg inne i gasässjan/smidesugnen. Anledningen till att jag inte använde elugnen var att jag inte kan emaljera långa arbetsstycken som går utanför dörren i elugnen. Då kan elugnen inte hålla temperaturen. Gasugnen har långt mycket högre värmeeffekt och används med mer eller mindre öppna dörrar. Därför går det fint att sticka in ett smides arbete och smälta ut emaljen på en del av arbetet och ha arbetsstycken som inte får plats i elugnen. Rekommenderat arbetstryck för ässjan är mellan 1 och 2 bar, men med 1 bar till brännarna så är det allt för varmt i ässjan. Med tryckt sänkt till 0,5 bar och med ena dörren öppen ca 5cm var det ca 900 i dörröppningen mätt med Fluke FC t3000 termometern. Proven i den inledande serien brändes där.



Bild 48. K154 emaljerad med WG Ball grund och 12541 White. Emaljen strödd torr på varmt stål med oxid/glödska. Provbiten är hanterad med tång och därför är en del av stålet i hörnat med hålet utan emalj. Detta gäller för alla provbitar som är emaljerade varmt i gasässjan. Sidan till höger i bilden har varit innerst i ugnen och det är tydligt att när de yttersta delarna av provbiten varit varm nog för att emaljen skulle flyta ut så var de innersta delarna överhettade och missfärgade. Jag tolkar i alla fall missfärgningen som överhettning. Trots grundemalj och ganska låg kolhalt i stålet finns det ganska mycket små blåsor. Knäckprovet visar att emaljen sitter acceptabelt och den fick Klass 3. Provbiten med Skillinge stål, nr S11 har motsvarande resultat. Motsvarande provbitar med Thompson emalj nr S13 och K155 har också likande resultat.



Bild 49. K154 emaljerad med WG 12541 White utan grund. Emaljen har lossnat vid knäckning och lämnat metallen ren från emalj. Klass 5. Motsvarande bit med Thompson har likande resultat det är provbit nr S14.

Erfarenheten från den inledande testserien med varmströning är att det blev för varm på delarna av provbitarna som var innerst i ugnen. Med resulterande missfärgning. Nu kan man ju önska en sådan missfärgning men om man inte önskar det så ska det vara möjligt att undvika det. Därför försökte jag sänka trycket på gasen men vid ca 0,4bar slocknar brännarna. Istället öppnades bakdörren i ugnen halvt för att släppa ut värmen och framdörren öppnades ca 10cm. För att få en jämnare värme så att all emalj smälter ut samtidigt så flyttades jiggen längre in i ugnen så att hela står inne i ugnen och inte endast i dörröppningen.

Resultatet från testserien med varm- och torrströdd WG Ball emalj, är först och främst att ingen tycks sitta riktigt bra. Alla prov lämnade stora fläckar helt utan emalj och en del av dem även utanför deformationsområdet. Det blev en del blåsor men framförallt fick fjäderstålet mycket blåsor. Proven blev dock inte lika ojämnt brända som i den inledande serien så åtgärderna mot det fungerade, men det är ändå för varmt inne i ugnen. Jag hade förväntat att emaljen skulle sitta bättre på Armco och purusFE stålen.



Bild 50. A12 emaljerad med Thompson grund och 533 White torrt och varmt. Bara små blåsor inne i emaljskiktet. Dock visar knäckprovet att emaljen inte sitter särskilt bra på stålet. Emaljen har lossnat och lämnat stora delar av deformationsområdet helt utan emalj och kanterna på emaljen är skarpa.

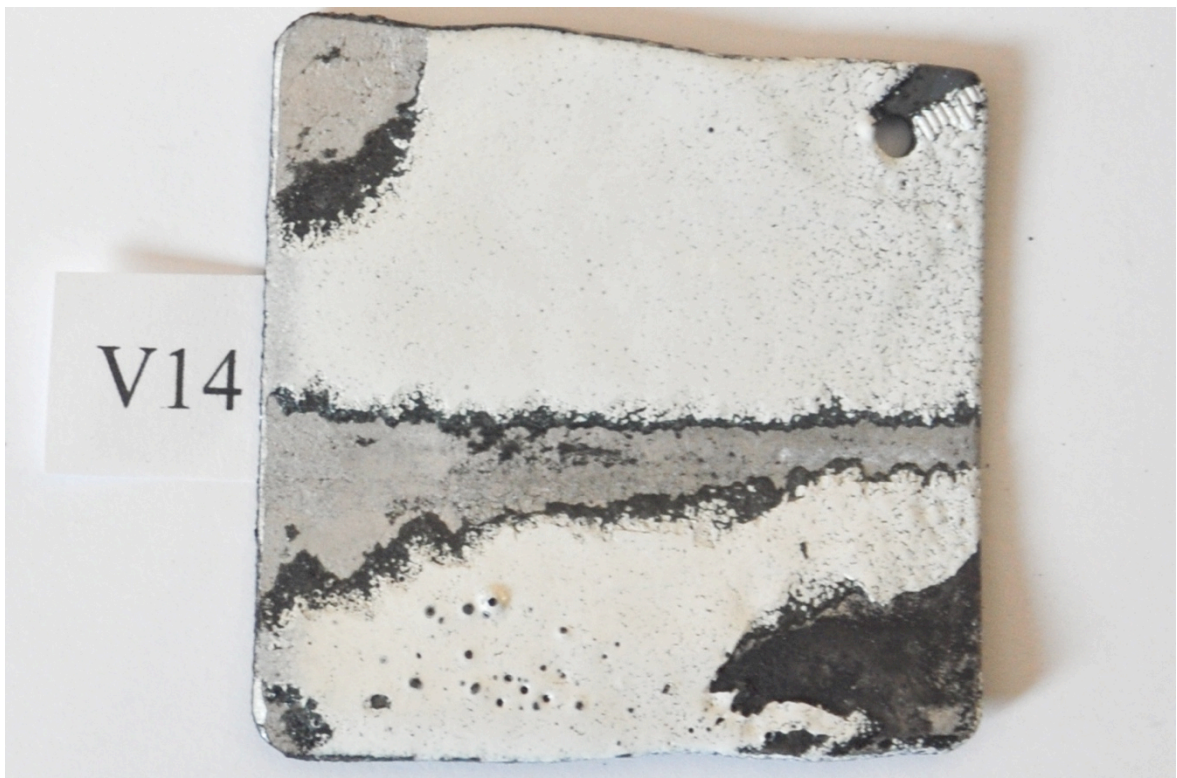


Bild 51. V14 emaljerad med Thompson grund och 533 White torrt och varmt. Här är det blåsor i emaljskiktet och emaljen har lossnat och lämnat stora fläckar rena från emalj.

Emaljen har dessutom lossnat från två hörn utan att stålet har blivit deformerat där. Övriga stål i serien har liknande resultat och alla har fått klass 4 eller 5.

4.2.10 Vidhäftning med varm- och torrapplicerad WG Ball grund och vit

Resultatet från testserien med WG Ball är väldigt lik den med emalj från Thompson. Inga prov ser ut att sitta riktigt bra. Det finns blåsor i de flesta men ganska lite i de med låg kolhalt och mer i de med hög. Dock är mängden blåsor betydligt mindre än i de serierna med grön och vit emalj utan grund.



Bild 52. A13 emaljerad med WG Ball grundemalj och 12541 White. Emaljen ser ut att sitta ganska bra men det är många små blåsor inne i emaljskiktet.

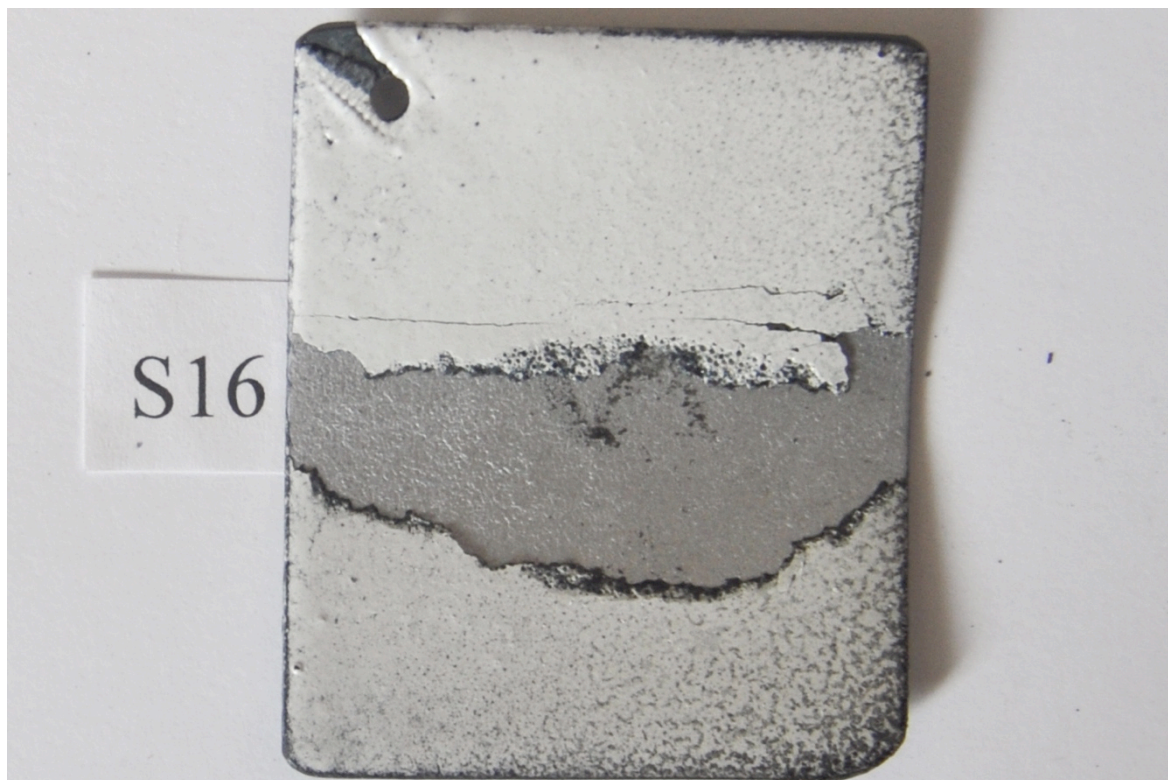


Bild 53. S16 emaljerad med WG Ball grundemalj och 12541 White. Provet visar tydligt att det har varit för varmt i inre del av ugnen, på grund av grå missfärgningen på högra delen. Emaljen har dock lossnat och lämnat stålet fritt från emalj och det är skarpa kanter så den får klass 5.

Efter sista provet mätte jag temperaturen med Fluke FC3000 termometern inne i ugnen med spetsen på temperatur sonden just där provbitarna var placerade under bränning. Då var temperaturen 990°C. Det är egentligen alltför mycket så de måste tas med i bedömningen av resultatet från testserien. Det betyder att det finns mycket experimentering kvar att göra för att hitta en eller flera metoder att värma arbetsstycken för emaljering med en torr och varm arbetsmetod.

4.2.11 Sammanfattning av resultaten från huvudstudien

Resultaten från huvudstudien gav många intressanta resultat och en del överraskningar. Det är bara 9 provbitar av alla 90 som följer den tänkta arbetsmetoden utifrån industrins system. Det är de som har stål som är tillverkat för emaljering, som var oxidfria före påföring av emalj och som fick både grund och täckemalj. I kontrast till det, är det långt fler provbitar som har visat användbara resultat. Jag menar att ca 60 av provbitarna visar ett användbart resultat. Det finns alltså mycket möjligheter utanför industrinormen.

En av de viktigaste problemställningarna var hur långt upp i kolhalt det gick att få god vidhäftning och blåsfritt emaljskikt. Där var det överraskande att alla tre provserierna med

grundemalj och täckemalj gav fina släta provbitar. En av de tre fjäderstålsbitarna hade blåsor och det var två blåsor. Som jag tolkar det så finns det med för hög kolhalt en liten risk att få några blåsor. Jag hade dock väntat mycket sämre resultat för fjäderstålet som trots allt har minst ca 70 ggr mer kol än purusFE stålet.

Men utan grundemalj blir resultatet ett helt annat. Då blir de med högre kolhalt helt uppblåsta och det var genomgående för alla sex testserie även om det var gradskillnader mellan de olika serierna. Då får man räkna med att testa alla emaljer först på provbitar och ytorna bör definitivt vara blästrade för annars släpper emaljen i stora flak. Det finns i stället mycket större anledning som jag ser det att använda billigare och mycket mer lättillgängligt stål, än att emaljera utan grundemalj. I alla fall inte med opaka emaljer där inte underlaget syns igenom. Om man endast emaljerar delar av föremålens yta och en del ska vara utan emalj och det dessutom inte ska vara en skarp kant, så skulle man kunna önska att emaljera med täckemaljen över kanten på grundemaljen för att den inte ska synas och då uppstår problemet med hur emaljen fäster till underlaget utan grund, just i övergången. Största problemet är antagligen inte vidhäftningen i ett sådant område eftersom det är ett litet område men blåsbildningen som i dessa testserier har visat sig betydlig på de vanliga varmvalsade S235 stålen. Här finns det mycket utrymme för vidare experimentering både på provbitar och genom arbete med hela objekt.

När det gäller den varmströdda torra emaljen så ser det ut som att oxidskiktet ställer till betydliga problem för vidhäftningen, men här krävs det egentligen mer experimentering för att hitta bra metoder. Att det var för varmt var ett tydligt problem. Det går också att smälta in emaljen genom att värma stålet med en brännare istället för att värma biten inne i en ugn. Antingen med acetylen och syrgas brännare eller också en propan/gasol brännare. Det hade också så klart varit intressant att testa en induktionsvärmare. Om man önskar effekter av torr strödd emalj på varmt stål är det också en klar möjlighet att först blästra stålet och lägga grunden vått och sedan bränna in grunden och att senare lager är torrströdda. Det är ett intressant experimenteringsområde.

4.3 Praktisk utprovning med objekt i fullskala

Efter provbitsundersökningen ska jag göra en praktisk utprovning med fullskaligt smidesobjekt. En sådan utprovning innehåller alla moment i tillverkningen av ett smidesobjekt. Från formgivning, smide, emaljering och till slutlig montering. Det är inte möjligt att systematiskt undersöka alla parametrar i processen men det ger ett bra stickprov på hur emaljering på smidesobjekt fungerar i praktiken. Att hela processen görs, gör att alla steg i processen blir med. I provbitsserien är det bara enstaka egenskaper och parametrar som blev undersökta och inte på fullskaliga realistiska föremål. Jag tänker att den praktiska utprovningen och provbitsundersökningen kompletterar varandra väl. I detta avsnitt följer en kort redogörelse för formgivningsprocessen av objektet, en redogörelse för smidesprocessen och en redogörelse för emaljeringsprocessen av objektet. Huvudvikten läggs på emaljeringen. Även om själva formgivningsprocessen inte direkt är relevant för att förstå mer om hur emaljen beter sig på smidesjärnet, är det indirekt relevant. Jag tänker också att det är viktigt att redogöra för formgivningsprocessen för att visa att det var en realistisk utprovning med fullskala smidesobjekt.

4.3.1 Formgivning

Formgivningsprocessen startar med en utgångspunkt i emaljen och stålet helt generellt. När man emaljerar stålet så ändrar man på ljuset från stålet så att det inte längre är svart överallt, utan det får nya färger. I tillägg är emalj glas, och glas används ofta tillsammans med ljus. Så jag blev inspirerad till att jobba med ljus och tillföra ljus till stålet. På ett idéplan handlar det om möten. Möten mellan det svarta smidesstålet och den ljusa och färgstarka emaljen. Möten mellan kristallint stål och amorft glas. På grund av detta bestämde jag mig för att föremålet ska ha en belysningsfunktion och fungera som lampa. Vidare beslutade jag att det skulle vara en fritt hängande taklampa som kunde hänga över ett bord.

Jag samlade diverse inspiration till formgivningen, men fastnade för lavar jag hade sett på träd i skogen. De ger en association till de jag hade tänkt göra med att sätta färg på stålet. Lavarna blir som färgade element på annars mest grå trädstammar. När jag ser närmre har många lavar tämligen spännande former. Vägglavens gula fruktkroppar, var en form som jag tyckte var spännande och bestämde mig för att ta utgångspunkt i den.



Bild 54. Den gula vägglaven med ett myller av svampliknande fruktkroppar som täcker en grenklyka.

4.3.2 Smide av svampelement

Processen startade med tillverkningen av dessa fruktkroppar vars form liknar svampar. Dessa svampelement sitter tätt i tätt i centrum av laven. Där bildar de ett miniatyrlandskap närmast som en liten skog. För att effektivt kunna smida ett större antal av dessa svampelement, behövs en bra arbetsplan. En arbetsplan, där varje steg för processen vidare på ett arbets- och tidseffektivt vis. Därför tillverkade jag ett delbart sänke för att effektivt kunna smida toppen på dessa svampformer. Själva smidesprocessen är i stora delar lik den man använder för spik och liknande föremål. Först stäcks änden på en 12mm rundstång så att den passar ner i hålet i sänket. Den delen kallar jag tång. Hålet i sänket är 6mm. Övergången från rundstångens hela diameter till den tunnare utsmidda delen, tången, bildar en avsats. Den avsatsen håller emot i sänket. När det är färdigt, kapas rundstången en bit från avsatsen. Hur lång bit som kapas av beror på hur stort huvud ska bli. Jag smidde svampformerna i varierande storlek och mätte inte utan smidde de olika stora och med lite olika former. Efter avkapning med giljotin, en form av sänkverktyg med lös överdel, sätts ämnet i sänket och huvudet stukas. Det stukade huvudet sträcks därefter vidare till en platta. Som sista moment formas huvudet till en skålform i ett sänke eller i det runda hålet i städet. Detta görs med en kulhammare.



Bild 55. Kapning av ämnet till huvudet på svampelementen. Verktuget kallas giljotin och är både hållare för ett löst undersänke och styrning för ett översänke. Notera den utsmidda tången med tydlig övergång till rundstångens fulla diameter.

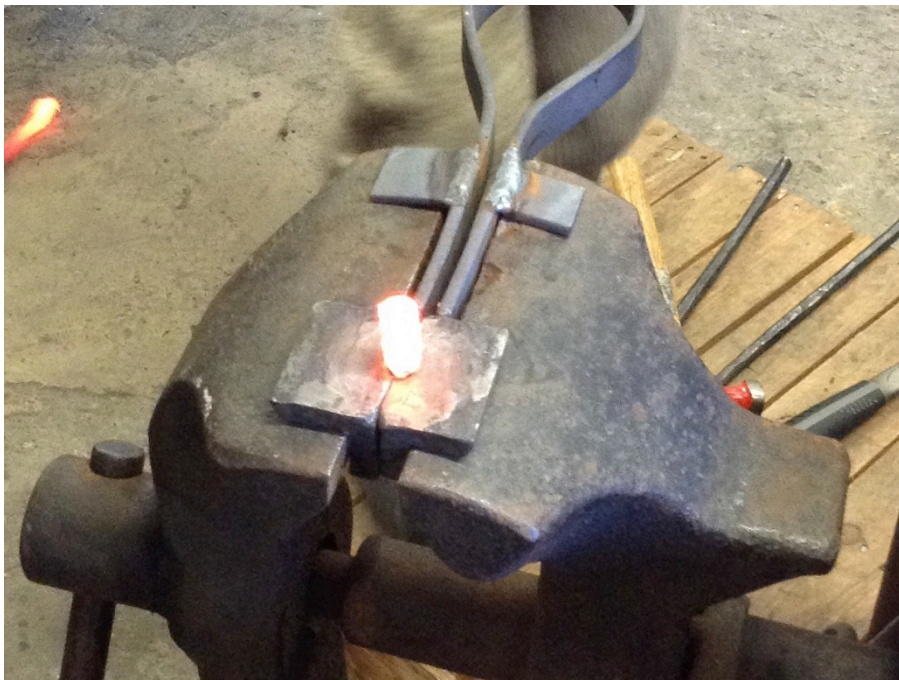


Bild 56. Ämnet placerat i det delbara sänket, klart för stukning av huvudet.



Bild 57. Färdigsmitt huvud i sänket.



Bild 58. Formning av huvudet med hjälp av det stora runda hålet i städet.



Bild 59. Färdigsmitt svampelement.

Eftersom det ska bli en lampa måste det ingå en ljuskälla i föremålet. Jag bestämde att det skulle vara en elektrisk lampa med standard glödlampa, men jag vill inte att den ska vara direkt synlig, utan vara dold. Ett sätt är att bygga in lampan så mycket att den bara är synlig från undersidan. Istället för det bestämde jag mig för att ta utgångspunkt en standard porslinssockel med opalglas kupa från svenska Ifö. Då får jag en färdig elektiskt godkänd ljuskälla och själva lampglasets är enkelt i formen. Lampglasets enkla form lägger inte så stora begränsningar på formgivningen av själva lampan. Jag tycker det matta opalglasets fungerar bra tillsammans med det svarta smidesjärnet, men jag vill inte ha själva porslinssockeln synlig utan dölja den. Glaskupan är cirkelrund och 150mm i diameter. Efter att ha funderat igenom några olika idéer bestämde jag mig för att ha kupan neråt och smida en kupa som helt klär in sockeln. Lavarna växer som en fläck på ytan och de enskilda elementen sitter tät i tät. Det gillar jag och vill återskapa på lampan. Därför blir toppen av stålkupan täckt med svampelementen. För att strama upp formen på smideskupan och få den att fungera tillsammans med den rena geometriska formen på kupan, så fungerar det bäst med en ren cylinder och en tydlig kant som definierar övergången från stålyta utan svampformer och den ytan som är klädd. Ovansidan av stålkupan smider jag kupad konvex så att formen tar igen den från glaskupan och cylindern under. Stålkupan tillverkar jag genom att rulla 2mm stålplåt till ett kort rör och svetsa det samman och därefter svetsa på ett lock. Efter svetsning slipas svetsfogar och kupan smids varmt till önskad form.

4.3.3 Våtemaljeringen med pensel av svampformerna

Med erfarenheten från provbitsundersökningen så bestämmer jag mig för att blåstra de ytorna som ska emaljeras. Glödskal på stålet såg i provbitsundersökningen ut att ha stor betydelse, speciellt på standard stål med kolhalt över 0,1 %. Jag vill bara emaljera insidan av skålen för att behålla den smidda ytan på undersidan och tången på svampformerna, så att emaljytan kan kontrastera mot den smidda ytan. Erfarenheten från provbitsserien är att den våtpenslade emaljen ger en del liv i ytan och ett uttryck som kan fungera tillsammans med de organiska formerna på svampelementen. Därför blir svampelementen våtemaljade med grundemalj och täckemalj och all emalj blir påförd med pensel. För att påskynda torkningen och minska risken för missfärgning på grund av rost, torkar jag elementen på en värmeplatta.

Emaljeringen i gasugnen med provbitar gav inte ett resultat som jag kan använda nu. Visserligen gjordes alla provbitar där med glödskal och torrt. Det kan säkert fungera bättre att emaljera där, men mer experimentering och utveckling krävs. Därför emaljerar jag i emaljugnen nu, för den har fungerat bra under provbitsserierna. Den elektiska ugnen jag har nu, är inte stor nog för att emaljera hela stålkupan med svampelementen monterade på toppen. Därför emaljerar jag svampelementen först, helt färdiga och svetsar de på efteråt. Eftersom de svetsas nere på tången så bedömer jag det som att svetsningen inte ska skada emaljeringen.

Fönstret som är intill min svets- och slipplats är tydligt skadat av svetsloppor och gnistor från slipningen. Svetsloppor är små smälta metall droppar som flyger iväg under svetsningen. De bränner sig in i glaset. Erfarenheten kommer också från en emaljerad badkarssida som stod bredvid slipplatsen och där blev ytan täckt med små inbrända slipgnistor. Därför tänker jag att det är viktigt att skydda det färdiga emaljskiktet från gnistor och svetsloppor och inte bara från värmepåverkan under svetsningen. Planen är därför att borra hål i stålkupan och sticka in svampelementens tånge i hålet. Då kan de svetsas fast från insidan och då skyddar själva stålkupan svampelementen från svetsloppor. Dessutom hade det inte varit så enkelt att komma åt under svampelementen och svetsa fast de från utsidan.

Smidet av svampelementen gick helt som tänkt och utan svårigheter. Blästringen av ovansidan av elementen gjordes i blästerskåp med kiselkarbid som blästermedel. Våtpenslingen var inte helt enkel att kontrollera. Speciellt inte när ytorna lutar och är böjda. Är emaljen för fuktig rinner den snabbt iväg till lägre ställen. På svampelementen ville emaljen rinna ner i botten och lämna alltför lite emalj på kanten. Är den torrare blir

det svårt eller omöjligt att få den att väta ut underlaget eller får det till ett jämnt lager. Bästa metoden var att luta skålen med emalj i så att en del vatten kunde rinna ner till ena sidan. Då blev den upplyfta emaljen lagom fuktig för att penslas ut. Emaljen vill trots det fort rinna ner i skålen och för att hindra det snurrade jag försiktigt runt svampelementet över värmeplattan. Detta för att fördela emaljen bättre medan den torkade. Det var dock bara nödvändigt att torka den på det viset, tills emaljen torkat så mycket att den inte ville rinna iväg. Därefter la jag svampelementen ner på värmeplattan och lät de torka tills emaljskiktet var helt ljusst. Totalt emaljerades 39 svampelement. Till grundemalj användes Thompson grundemalj GC-16. Efter torkning brändes svampelementen i Naber emaljugnen på 820°C i 4 minuter. De låg inte på den stålplattan med stålspiggar som jag hade använt under bränningen av provbitarna, utan de lyftes in med tång och lades ner på en plan stålplatta. Trots arbetet med att fördela emaljen jämnt över stålytan var det några svampelement som efter grundemaljeringen verkade ha för lite emalj på några ställen. De penslade jag ny emalj på, utan att blåstra ytan. Efter ny bränning var de täckta av ett sammanhängande och blankt grundemaljskikt, i liket med de andra. Efter avsvälning penslades den gula täckemaljen på. Jag hade bestämt mig för att använda Thompson nr 769 Goldenrod Yellow. Den gula täckemaljen penslades också våt på. Det var något lättare att få den jämnt fördelad, än det hade varit med grundemaljen. Svampelementen med täckemalj torkades också på värmeplatta, men eftersom de är grundemaljerade är det ingen risk för rost på stålytan. Ett lager med täckemalj gav något dålig täckning och grundemaljen syntes fläckvis efter bränning. Därför emaljerade jag alla svampelement två gånger med täckemalj. Täckemaljen brändes vid 820°C i fyra minuter i Naber emaljugnen.



Bild 60. Smidda svampelement och stålkupa blåstrade för emaljering.



Bild 61. Torkning av svampelement på värmeplatta. Emaljen är Thompson grundeemalj GC-16 och den är påförd vått med pensel.

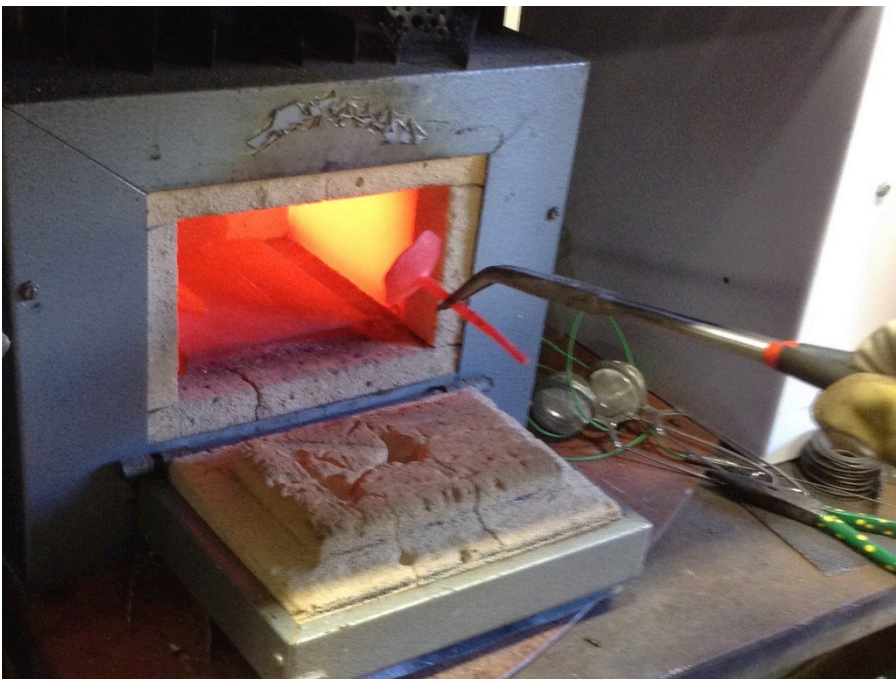


Bild 62. Bränning av svampelement i Naber emaljugn. Svampelementen låg på en ren stålplåt inne i ugnen under bränningen. De hanterades med en tång och tre stycken kunde brännas samtidigt.

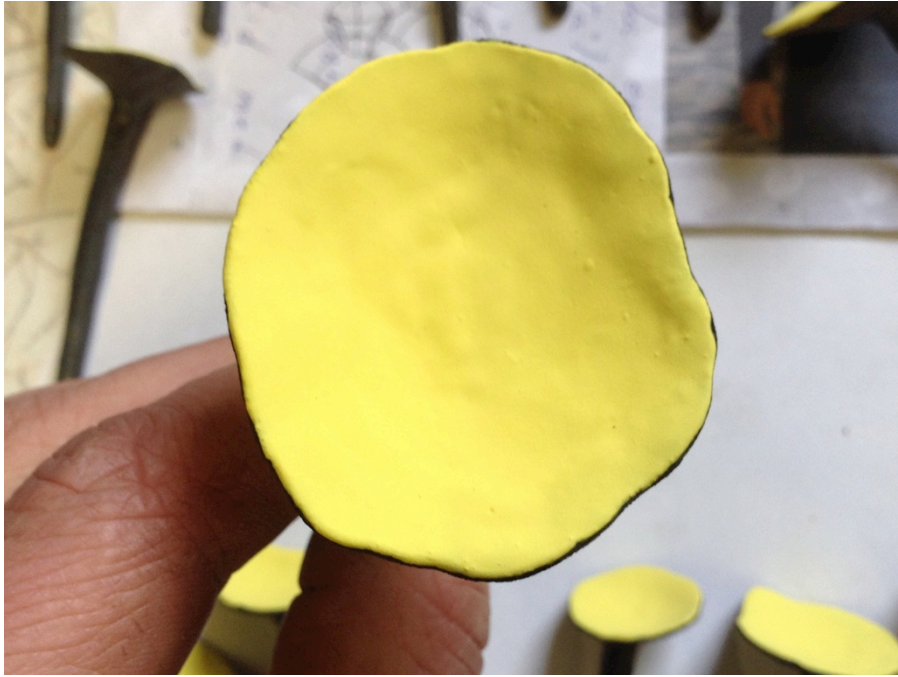


Bild 63. Svampelement med torkad Thompson nr 769 Goldenrod Yellow täckemalj. Emaljen är påförd vått med pensel och torkad på värmeplatta.



Bild 64. Utprovning med kartongmodell för att se hur svampelementen skulle monteras på lampkupan.

4.3.4 Sprutemaljering av blå kant.

Under utprovning med de färdigemaljerade svampelementen kom jag fram till att det skulle fungera bra med ett extra visuellt element mellan glaskupan och stålkanten. Därför ska jag emaljera ett band nederst på kanten. Bandet bör inte vara för brett utan låta den synliga stålytan vara den dominerande. Eftersom både glaskupan och stålkupan är mer geometriska än organiska tänker jag att det passar bäst med ett band med skarp kant och tydlig definition, mot både stålet och glaskupan. Som jag ser det kan jag antingen hindra emaljen från att fastna där den inte ska vara eller ta bort emaljen där den inte ska vara i efterhand. I det första fallet maskeras ytan som inte ska vara täckt och efter att emaljen har torkat tas maskeringen bort och med den emaljen som inte ska vara med. Alternativet är att täcka mer än det området som ska emaljeras med emalj och låta emaljen torka. Efter torkning så maskeras det som ska vara kvar och resten blir borstat bort eller på annat sätt avlägsnat. Maskeringen kan dock inte tejpas fast eftersom den då kommer riva med sig emaljen, som man önskar skulle vara kvar. Detta är den traditionella skyltemaljeringstekniken där pappers- eller plåtmallar används (Andrews et al., 2011, pp. 482-484). Jag bestämmer mig för att använda tekniken med maskering före emaljering och att använda vanlig maskeringstejp till att maskera det som inte ska emaljeras. En del av lavarna som växer tillsammans med den gula är gråblå och det tycker jag fungerar fint så bandet blir emaljerat med Thompson nr 799 Sky Blue. Eftersom uttrycket på bandet ska vara mer grafiskt eller geometriskt och inte organiskt så ska jag påföra emaljen med spruta. Eftersom inte stålkupan med monterade svampelement går in i ugnen och dessutom att svampelementen redan är emaljerade så blir kupan emaljerad innan montering av svampelementen.



Bild 65. Blågrå lav tillsammans med den gula väggglaven. Den blågrå laven har likande fruktkroppar men med svart insida.

Först blästrades området som skulle emaljeras men utan maskering, så det blev blästrat en bit utanför området skulle emaljeras. Maskeringstejpen placerades så att ett 25mm brett band maskerades av nederst på stålkupan. Hela sidan på stålkupan är ca 75mm. Grundemaljen sprutades på med spruta, med 0,8mm munstycke och överliggande färgkopp. Alltså en gravitationsmatad spruta. Det gick fint att spruta grundemaljen. Sprutningen gjordes i sprutskåp med utsugning och filtrering av luften. Till grund användes Thompson grundemalj GC-16. Efter att emaljen torkat rev jag av tejpen. Det fungerade utmärkt och blev en distinkt kant. Inget av emaljen utanför tejkanten föll av i nämnvärd grad. Sista resterna av emaljsprut som hade hamnat utanför tejpen borstades bort med pensel. Stålkupan brändes i Naber emaljugnen på 820°C. Fyra minuter var dock inte tillräckligt utan kupan fick stå inne tills ugnen var uppe i 820°C. Efter avsvälning såg allt helt fint ut, med en tydlig kant mellan grundemalj och svart oxiderad stålyta, men på ett ställe, på kanten av kupan hade det torra men obrända emaljskiktet blivit skadat. Skadan skedde under hanteringen och där var efter bränningen en oemaljerad fläck. Då övervägde jag om jag skulle blästra rent den fläcken eller hela området och emaljera på nytt, men bestämde mig för att testa att emaljera över med grundemalj på fläcken samtidigt som täckemaljen lades. Först skrapade jag av en del av oxiden i fläcken och penslade sedan på grundemalj. När den var torr sprutade jag täckemalj över, utan att bränna grunden först. En sådan teknik används också i industrin för att spara energi och då bränner man både grund och täckemalj samtidigt (Andrews et al., 2011, p. 456). Före sprutning av täckemaljen

maskerades kanten på nytt, på samma sätt som med grundemaljen. Sprutningen av täckemaljen fungerade dock inte som med grundemaljen. Först provade jag att spruta med sprutan med 0,8 mm munstycke, samma som jag använde till grunden. Det fungerade inte alls. Därefter provade jag 1,0 mm spruta men det fungerade inte heller. Slutligen provade jag en 1,4mm spruta. Det fungerade bra. Sprutor med 1,4 munstycke är större och med större materialkopp. Till så pass små arbeten verkar en 1,4mm spruta överdrivet stor. Den fläcken där det var torr men obränd grundemalj, betedde sig inte som jag hade förväntat. Där blev det ojämnt och jag tolkar det som att den torra emaljen sög till sig vatten. För att jämna ut utseendet så sprutade jag extra emalj över fläcken. Efter att emaljen torkat rev jag av tejpmaskeringen och det fungerade lika fint som det hade gjort med grundemaljen. Täckemaljen brändes på 820°C i Naber emaljugnen till temperaturen var uppe i 820°C igen efter insättningen. Resultatet blev som önskat och väldigt jämnt. Dock blev färgen inte helt jämn där jag hade reparerat grundemaljen. Så det ser inte ut som en helt bra metod.



Bild 66. Torkning av grundemalj på lampkupan. Thompson grundemalj påförd våt med tryckluftsspruta. All emalj torkades på värmeplatta.



Bild 67. Avrivning av maskering för grundemalj, efter att den torkat. Metoden fungerade bra och det blev en tydlig kant. Emaljresterna nederst på lampkupan utanför maskeringen, borstades bort innan bränning.



Bild 68. Bränning av lampkupan. Den är på väg ut ur ugnen med bränd grundemalj.



Bild 69. Lampkupan med bränd grundemalj och ny maskering för täckemaljen. Notera penslad grundemalj över skada och skillnaden i färg mellan bränd grundemalj och obränd grundemalj på tidigare bild.

Efter emaljering av det blå bandet, borrade jag hål i toppen för elkabel och vajer som lampan kan hänga i. Jag bedömde det som att lampan är för tung för att kunna hänga direkt i elkabeln. För att kunna hålla stål kupan upp och ner under svetsning, skruvade jag fast en 10mm rundstång i hålet för kabeln. Då kan den sättas fast i ett skruvstycke i önskad vinkel under svetsningen. Stången gör det dessutom enkelt att se till så att ingen av svampelementen blockerar passagen för elanslutningen eftersom den ska gå där stången är. Stången utgör dessutom ett bra ställe för jordanslutning under svetsning. Därefter borrade jag hål i toppen på stål kupan och svampelementen stacks in. Tången på svampelementen skars av till lämplig längd och svetsades från insidan. Svampelementen har varierande storlek och form. De placerades så att de bildar en kulle där svampelementens toppar täcker största delen av ytan. De sitter i varierande höjder och sticker utanför kanten, men ingen sitter nedanför kanten som avgränsa kullen på toppen. På så vis tänker jag att det är ett sammanhang mellan elementens former och dess placering, men också en koppling tillbaka till hur lavarna växer. Inne i stål kupan svetsade jag ett tvärstag som porlinssockeln fästs i och som också vajern för upphängning fästs i. För att inte elkabel och upphängningsvajern ska blir två element som hänger över lampan, bestämde jag mig för att trä vajern och kabeln in i en svart strumpa. Stumpan är avsedd för att klä in flera

kablar och samla de. Det gav det önskade resultatet men strumpan var något komplicerad att trä in i lampan med kabel och vajer i.

4.3.5 Torr- och varmemaljerad takkupa

Även om själva lampan är färdig så måste den hängas upp i taket och få en anslutning där. Jag vill att en sådan anslutning ska fungera visuellt och uttrycksmässigt tillsammans med lampan, och inte bara vara en vit plast kupa. Därför ska jag smida en stålkupa som elkabeln och vajern går in i och som döljer fästet till taket. För att den ska ha uttrycksmässigt förbindelse till lampan ska jag emaljera delar av stålet och låta delar vara svart stållyta. Jag övervägde att smida nya svampelement och placera de på takkupan, men det tror jag skulle förta och konkurrera med de som sitter på själva lampan. Att emaljera delar av kupan i samma blåa färg som det är på kanten av lampan, är så klart en möjlighet för att binda ihop takkupan och lampan. Det tror jag inte hade blivit så bra och så tydlig kontakt behövs inte för att de visuellt ska hänga ihop. Den gula väggglaven växer ofta på aspar och alar som har bark i grönbruna nyanser. Så jag bestämde mig för att utforska möjligheterna med det. Färgskiftningarna är inte skarpa utan färgen skiftar flytande eller i spräckliga mönster. Detta vil jag använda. Erfarenheterna med torrströning från provbitsundersökningen visade att man kan få mer spräckligt resultat med torrströning än med våtapplicering. Därför ska jag prova att få till, så att det är en färg på toppen av takkupan som gradvis går över i en annan och så gradvis går över i svart stållyta. Emaljerna blir en brun Thompson 788 Coca Brown, närmast det synliga stålet. På toppen av kupan blir det en blågrön emalj, Thompson 935 Robin egg Blue. För att få bra vidhäftning till stålet så blästra jag ytan som ska emaljeras, så att den är fri från oxider och använder grundemalj under täckemaljen.

Själva kupan smiddes från 3mm stålplåt. Formningen gjordes huvudsakligen med stäckning av mitten mot ett sänke och med kulhammare. För att nå ner tillverkade jag två hammare med olika krumning. Fäste för upphängning i taket svetsades inne i kupan och ett eget system för att fästa det konstruerades. Efter att ett löst fäste, skruvats fast i taket kan kupan skruvas fast i det fästet med en insexnyckel genom ett mindre hål i kupan. Därefter blästrades hela utsidan fri från glödska, utom sista centimetern vid kanten. Emaljeringen skulle göras torr genom att strö på emaljen och på ett sådant vis att det blev gradvisa övergångar mellan de olika emaljerna och stålet. Ett alternativ var att värma upp stålet och sedan strö på emaljen så att den fäster genom att smälta fast på underlaget. Det var den sista metoden jag experimenterade med i huvudserien, men då blir stållytan helt oxiderad innan man hinner lägga på emalj. Ett annat alternativ var att spruta på grunden vått, men jag ville testa att strö på grunden på kallt stål och se hur mycket som hänger kvar. Jag

önskar ändå inte att emaljer på de mest lodräta ytorna på kupan. Jag har en misstanke om att det kan hänga ganska bra på den blåstrade ytan som är tämligen skrovlig. Under provbitsserierna stöddes emaljen med WG Balls emaljsiktare men det tog relativt lång tid att täcka ytan med dem. Speciellt med de små siktarna. Därför siktade jag takkupan med en tesil, en sådan tesil som består av två halvklotsformade siktare och ett handtag som klämmer halvorna samman. Först siktades grundemaljen på kallt. Det var Thompson GC-16 grundemalj. Emaljen hängde förvånansvärt bra fast på ytan trots att jag var tvungen att vrida runt kupan så att olika ytor hamnade vågrätt. Takkupan placerades försiktigt på en stålplåt och lyftes försiktigt in i emaljugnen. När ugnen hade kommit upp i temperatur igen, till 820°C. Lyftes kupan ut och jag strödde den bruna täckemaljen direkt på medan kupan var varm. Grundemaljskiktet såg inte ut att ha några fel utan var slät och jämn, utan att jag behövde göra en väldigt noggrann inspektion. Täckemaljen smälte delvis fast i grundemaljen under siktningen. Efter en ny bränning på samma vis som tidigare lyftes kupan ut och sista täckemaljen, den blågröna ströddes på toppen. Därefter brändes kupan en sista gång. Grundemaljen blev alltså kallströdd medan de två täckemaljerna blev varmströdda.



Bild 70. Färdig smidd takkupa med hål för elanslutning och fastskruvning till takfäste.



Bild 71. Torrsiktning av takkupan. Stålet är blåstrat och en tesil används för siktningen.



Bild 72. Takkupan på väg in i emaljgugnen med grundemaljen strödd kallt och torrt på.



Bild 73. Varmströning av täckemaljen. Båda lagren ströddes på samma vis.

I arbetsprocessen har varmströningen flera likheter med smidesprocessen av stålet. Själva arbetsprocessen görs i det att materialets egenskaper ganska snabbt ändras med tiden. Stålet kallnar och beter sig annorlunda. Därför är det nödvändigt att ha tänkt igenom nästa steg, innan man börjar. Det går inte att vänta och stoppa och tänka efter. Då försvinner möjligheterna. Det går inte heller att låta stålet eller emaljen vänta för länge i ugnen, medan man tänker eller gör nya planer för då blir det överhettat eller på annat sätt förändrat. Processen har också en tydlig riktning. Det är alltså inte så enkelt att backa processen. Många gånger går det inte att reversera smidesprocessen och på samma vis, är det inte så enkelt att ta bort strödd emalj. Med emalj lagd kallt kan man alltid ta bort emaljen innan den är bränd och lägga på ny, utan att slutresultatet blir annorlunda än om man hade lagt på emaljen rätt på första försök. Så som smed känns det som att varmströningen har mycket gemensamt med och harmoniserar med själva smidesprocessen.

Det slutliga emaljskiktet har några få små blåsor och en liten spricka i emaljskiktet. Sprickan tolkar jag som att det är i täckemalj som hamnade utanför området med grundemalj. Som helhet ser emaljskiktet tekniskt bra ut och fungerar som tänkt. Formgivningsmässigt hade jag sett för mig ett något mer spräckligt resultat. Ett resultat där den bruna täckemaljen syns något mer genom den gröna. Tesilssiktarna gav ett annat resultat än emaljsiktarna från WG Ball, men jag tycker ändå att det formgivningsmässigt fungerar tillsammans med själva lampan.



Bild 74. Färdig lampa.



Bild 75. Färdig lampa med takkupa.



Bild 76. Färdig takkupa.

4.3.6 Sammanfattning av resultat från den praktiska utprovningen

Den praktiska utprovningen är ett stickprov med ett specifikt fall. Lampan är ett fall men den innehåller tre olika emaljerade fält med tre olika appliceringsmetoder. Hela processen från formgivning till färdigmontering av lampan är med i processen. På det viset vill jag påstå att alla faktorer är med och att de utprovade metoderna är realistiska i en mindre konstsmedja.

Våtemaljeringen av svampelementen visade tydligt på svårigheterna med att få till rätt konsistens på emaljslippen och att det blir betydligt svårare när inte underlaget är helt plant som det var i provbitstestserierna. Emaljen vill då gärna rinna ner för sidorna. På det viset var det betydligt enklare att sprutemaljera. Trots delvis tjocka lager med sprutan där grundemaljen var skadad så fanns det inga tendenser att rinna. Sprutapplicering har där en stor fördel om man önskar ett jämnt resultat. Bränningen av emaljen på svampelementen gick utan problem och det resultatet är bra. Det finns några små ojämnheter i ytan som antagligen är små bubblor på några av svampelementen, men de anser jag som oväsentliga.

Att det krävdes två lager täckemalj för att täcka grundemaljen visar som jag ser det med tydlighet på svårigheten att lägga emaljen jämt över ytan när pensel används. Det stämmer också helt klart med erfarenheterna från provbitsserierna där det också blev ojämna färger med våtpensling. Men detta är så klart beroende på skickligheten av den som lägger emaljen och därför ska det exakta resultatet tas med ett tydligt förbehåll. När det gäller svampelementen var det ett formgivningsmässigt val att använda den våtpenslade emaljen för att få liv i emaljytan.

Lösningen med att emaljera svampelementen separat och emaljera lampkupan separat och därefter svetsa elementen samman fungerade utmärkt, men det tillförde komplikationen att klara att inte skada emaljen under svetsningen och monteringen av delar på kupan. Det underlättade dock att elementen kunde emaljeras separat och därmed roteras i lämplig position under påförandet. Det hade inte varit omöjligt med de monterade men det hade varit svårt att sprutemaljera svampelementen när de var emaljerade om man hade valt den vägen. Inte minst med så stor spruta som krävs för att munstycket ska bli stort nog. Den blå täckemaljen 935 Robin egg blue visade med tydlighet att alla emaljer inte går att spruta med mindre munstycken.

Maskeringstekniken och sprutemaljeringen fungerade väldigt fint och gav den släta och jämna ytan som jag hade tänkt för den delen av lampan.

I analysen av varmemaljeringen i huvudundersökningen hade jag idén om att våtemaljera eller kallemaljera grundemaljskiktet för att därefter varmemaljera de påföljande täckemaljskikten. Detta tillvägagångssätt använde jag på takkupan och resultatet blev överraskande slätt, i kontrast till provbitsundersökningen där de torrströdda emaljskikten blev generellt ojämna och småvågiga. Den torra och varmströdda emaljen på takkupan flöt ut till ett väldigt jämnt skikt.

Resultatet från huvudundersökningen med ståltyper stämmer också bra med resultatet från den fullskaliga experimenteringen. Ingen av stålen på lampan är speciellt tillverkade emaljstål utan alla är standard varmvalsade stål S235. Alla emaljytor är emaljerade med grundemalj och det syns i stort sett inga spår på någon av ytorna av bubblor eller andra fel. Enda undantaget är takkupan som har några små bubblor och en spricka i ett fält på takkupan. Det fältet är antagligen utanför fältet med grundemalj.

5 Diskussion

Experimenteringen med emaljen i provbitsundersökningen och i den fullskaliga utprovningen har skett succesivt. Provbiterundersökningen består av tolv delundersökningar som stegvis leder fram till huvudundersökningen med provbitar. För varje steg har jag analyserat resultatet, och slutsatserna från det har lett vidare till nästa steg i undersökningen. Efter provbitsundersökningen gjorde jag en genomgång av resultatet och en diskussion kring resultatet från den undersökningen.

Syftet med undersökningen var att hitta bra arbetsmetoder och material för att emaljera på stål med de förutsättningar som en konstsmed har. En huvudfrågeställning som jag identifierade var att undersöka hur emaljerna fungerar på andra stål än de som specifikt är tillverkade för emaljering. I diskussionen nedan tydliggörs hur resultaten från undersökningarna förhåller sig till litteraturen inom området.

Vidhäftningen till olika stål och gasutvecklingen under emaljeringen

Alla ståltyper gav i huvudundersökningen bra resultat med grundemalj och täckemalj när ytan var blåstrad eller plåtren. Det stämmer också bra med resultaten från den fullskaliga utprovningen där alla ytor på svampelementen och det blå bandet gav utmärkta resultat utan blåsor och utan fishscaling. Takkupan gav också nästan helt perfekt resultat. Detta resultatet är mycket intressant med tanke på möjligheterna för konstsmeders emaljering. Det fungerade också lika bra med alla tre emaljfabrikaten på alla ståltyper, så det är inte ett resultat specifikt för ett emaljfabrikat eller ett stålprov som råkade ligga väldigt lågt inom toleransen. Detta kontrasterar med vad som anges i litteraturen. Marskall & White (1986) anger att mild steel med en kolhalt på 0,2 % har dålig lämplighet som emaljeringsstål och att stål med högre kolhalter ger upphov till ”carbon boil”²⁶ (Maskall & White, 1986, pp. 53,58). Både Ellis (1997) och Wratil (1984) skriver att stålen ska ha en kolhalt på max 0,1 %, men anger inget mer om vad som skulle vara problem med högre kolhalter (Ellis, 1997, p. 14; Wratil, 1984, p. 44). Eppler & Eppler (2000) anger inget angående kolhalt i stålet eller de problem som skulle kunna uppkomma (Eppler & Eppler, 2000). Petzold & Pöschmann skriver inget mer om ståltyp än att det vanligaste stålet är ett emaljeringsstål med en kolhalt mindre än eller lika med 0,08 %. Däremot skriver de att reaktivt kol i grundmetallen är en väsentlig källa till gasutveckling och bubblor i emaljen: över 721°C

²⁶ Carbon boil uppträder som små svarta eller grå prickar i emaljytan. De beror på koldioxid och kolmonoxid som bubblar i gasform genom emaljskiktet under bränningen av emaljen. Kolet har sitt ursprung i stålet medan syret som reagerar med kolet kan komma från emaljen, metalloxider på stålet eller direkt från atmosfären i ugnen (Andrews et al., 2011, p. 745; Maskall & White, 1986, pp. 53,58).

sönderfaller järnkARBIDEN i stålet till reaktivt kol som kan reagera med syre från ugnsatmosfären, med syre i metalloxider eller syre som finns i emaljen. Petzold & Pöschmann anger också att en viss gasutveckling med påföljande gasbubblor är positivt därför att det ökar emaljskiktets elasticitet och därför att det ökar emaljens förmåga att ta hand om vätgasen som ger upphov till fishscaling (Petzold & Pöschmann, 1987, pp. 152,285-286). Enligt Andrews et al. (2011) bör varmvalsade stål bör undvikas och åtminstone inte emaljeras på båda sidor, så att vätgasen kan släppas ut genom den andra sidan. De varmvalsade stålen har därmed hög risk för fishscaling (Andrews et al., 2011, pp. 145-150). Vidare anger (Andrews et al., 2011, p. 745) under avsnittet emaljfel, att stål med höga kolhalter kan ge upphov till ”carbon boil” och att detta visar sig som små svarta eller grå prickar på ytan. I svåra fall ger det blåsor i godset. Utifrån ovanstående information i litteraturen, kunde man ha förväntat avsevärt mer problem med många av de emaljeringar som är genomförda i undersökningarna i detta projekt. Inte minst i de tre provbitarna med fjäderstål som har en kolhalt på ca 0,7 % och därmed ligger 7 gånger över rekommenderad maximal kolhalt, och mer än tre gånger så hög kolhalt som det varmvalsade stålet som det tydligt avråds att emaljer på. En av fjäderstålbitarna har en bubbla och en liten prick medan de andra två är lika släta och prickfria som övriga provbitar i de testserierna. Utöver det har en provbit med varmvalsat stål två bubblor. På lampan som gjordes i den utövande delen finns det några blåsor, som skulle kunna bero på carbon boil, på de gula svampelementen. På det blå bandet finns inga tecken på blåsor och på takkupan finns det några mycket små blåsor. Några tecken på fishscaling som skulle kunna vara ett problem kan jag inte hitta. Här får man betona att alla ytor är ensidigt emaljerade, vilket innebär att vätet antagligen har tagit sig ut genom den andra sidan. Någon anledning till att det skulle ha blivit mindre gasutveckling i den emaljering som är gjord i dessa experiment kan jag inte hitta, men även om resultatet är bra så är det inte absolut felfritt. Det kan tänkas att det helt enkelt är för dåligt i industrins perspektiv att det uppstår några blåsor på en del av det som emaljeras. Men i ett konstsmidesperspektiv menar jag att det är mycket användbart. Blåsorna på lampan är så små och få att jag misstänker att de blåsor som finns aldrig kommer att noteras av de som ser lampan.

I mina undersökningar krävdes det, för att få det nästan helt felfria resultatet på varmvalsade stål och andra stål med hög kolhalt, att ytan var oxidfri och att grundemalj användes. Blästring i blästerskåp är en mycket effektiv metod att rengöra även komplicerade föremål från oxider och glödska. Blästringen är både snabb och effektiv. En nackdel är att ett blästerskåp och en tillräckligt stor kompressor för att driva blästerskåpet ofta inte finns i en konstsmidja och konstsmiden behöver då investera i detta.

Provbitarna i serierna utan grundemalj gav ett helt annat resultat än de med grundemalj. Provbitarna med hög kolhalt fick kraftig blåsbildning över hela ytan medan de med låg kolhalt gav blåsfri emalj. Emaljen ser ut att sitta betydligt sämre än med grundemalj. Den blåsbildning som finns på provbitarna ser tydligt ut att hänga samman med kolhalten i stålet. Det är mest bubblor på fjäderstålet och mindre bubblor desto lägre kolhalt stålet har. Utifrån hur mycket bubblor det är på olika ståltyper ser det tydligt ut som att det är kol i stålet som orsakar bubblingen, men i så fall är det intressant att notera att det blir så lite bubblor på motsvarande prov med grundemalj. Den enda skillnaden är grundemaljen: de är brända i samma ugn och i samma ugnsatmosfär, stålen är från samma stång med identisk kemisk sammansättning och de är blåstrade på samma vis och täckemaljen är den samma. Resultatet är tydligt med alla tre emaljfabrikat. Syret som oxiderar det reaktiva kolet måste komma någonstans ifrån. Jag ser två möjliga källor, antingen är täckemaljen öppen för den omgivande atmosfären så att syre kommer genom den smälta emaljen och kan oxidera kolet eller så kommer syret från någon kemisk komponent i täckemaljen. Resultatet med bubblor i täckemaljen var identiskt med både den gröna och vita täckemaljen med alla fabrikat så det är inget som är specifikt för en täckemalj. Antingen blockerar grundemaljen syrgasen i atmosfären runt emaljen eller så innehåller den inte det ämne eller ämnen som ger syre till kolet i grundemaljen. För att få ett svar på det skulle man kunna bränna emaljprov i en ugn med skyddsgasatmosfär så att syre från luften kan uteslutas. Det är dock inte säkert att det hade fungerat för det krävs en oxiderande atmosfär runt emaljen för att den ska binda till stålet (Andrews et al., 2011, p. 499). I den undersökta litteraturen står det inget om att grundemaljen specifikt hindrar gasblåsor eller gasutveckling.

Gas kan också komma i form av vätgas, men enligt litteraturen ger vätgasutvecklingen problem när temperaturen faller och lösligheten minskar i stålet. Det ger då upphov till fishscaling där emaljen sprängs loss från stålet, vanligen som små flak som påminner om fiskfjäll (Andrews et al., 2011, pp. 693-695). Andrews et al. (2011) anger att grundemaljen är den huvudsakliga källan till väte som orsakar fishscaling men att källan till vätet många gånger kan vara svår att spåra (Andrews et al., 2011, pp. 369,693-695). Under stora delar av bränningen av emaljer sker det normalt en gasutveckling. Den gas som utvecklas bubblar genom emaljskiktet och släpps ut, varvid emaljskiktet flyter över den krater som bubblan har orsakat. Den gas som inte frigörs stannar i emaljskiktet som små gasbubblor. Gaser som frigörs under bränningen när temperaturen är under 649°C är huvudsakligen vätgas, vattenånga, kolmonoxid, koldioxid och kvävgas. Mellan 649°C och 871°C består gasen av koldioxid, kolmonoxid och kvävgas. Gasen som utvecklas från grundemalj vid 816°C, när emaljen är på sin topptemperatur och ska flyta till ett sammanhängande skikt

med bra glans, är i stort sett endast vattenånga (Andrews et al., 2011, pp. 409,691). Bubblingen borde inte komma från själva täckemaljskiktet eftersom det då borde bubbla lika mycket med grundemaljen under och lika mycket oavsett ståltyp. Vad som exakt orsakar den kraftiga bubblingen på stålbitarna i testserierna utan grundemalj är inte enkelt att hitta svar på. Oavsett vad som orsakar gasutvecklingen är det tydligt att ska man använda emaljen utan grundemalj måste stålet ha låg kolhalt. Det stämmer också väl med litteraturen. Så länge man emaljerar med opaka emaljer ser jag bara en anledning att emaljera utan grundemalj, och det är när kanten på emaljskiktet mot det oemaljerade stålet ska vara helt diffus och man absolut inte önskar att grundemaljen är synlig. Då blir det svårt att applicera emaljen så att täckemaljen endast ligger där grundemaljen är och samtidigt täcker all grundemalj. Detta problem visades tydligt när jag emaljerade takkupan: täckemaljen närmast det oemaljerade stålet hamnade då utanför det grundemaljerade området. Det orsakade inga blåsor men emaljen sitter troligen inte lika bra mot underlaget. Dock har emaljen så här långt inte visat några tendenser att lossna.

Glödskal och varmapplicerad emalj

Jag har gjort en del undersökningar med glödskålet kvar under grundemaljen, både i tidiga provbitsundersökningar och i huvudstudien. I de tidiga studierna är det kall- och torrapplicerad emalj medan i huvudstudien är emaljen applicerad varm och torrt. I de kalla och torra testserierna lossnade emaljen av sig själv från flera provbitar och lämnade stålet fritt från emalj. Det indikerar tydligt att emaljen inte binder ordentligt till underlaget, men vad som får emaljen att lossna är oklart. Det skulle kunna bero på att emaljen inte löser upp oxidskiktet på stålet och att bindningen till stålet därmed blir svag. Det är alltid spänningar i emaljskiktet och om bindningen till stålet är för svag kommer spänningarna mellan emaljen och stålet av riva loss emaljskiktet. Emaljens hållfasthet för dragspänningar är låg jämfört med hållfastheten mot tryckspänningar. På grund av detta är emaljen sammansatt så att den termiska utvidgningskoefficienten är något mindre i emaljen än den är grundmaterialet som emaljen läggs på. Detta innebär att stålet kommer att dra sig samman något mer än emaljen, när det emaljerade stålet svalnar efter bränningen, och det resulterar i dragspänningar i stålet och tryckspänningar i emaljskiktet (Andrews et al., 2011, pp. 65-67). Är spänningarna större än styrkan i vidhäftningen kommer hela eller delar av emaljskiktet att lossna.

Emaljen skulle också kunna lossna från underlaget på grund av vätesprängning, så kallad fishscaling, där gstrycket under emaljen är större än vidhäftningsstyrkan på grund av att vidhäftningen är försvagad av för mycket oxider.

Ellis (1997) anger att en lämplig metod för att emaljera smidesjärn är så kallad "hot dusting" där emaljen siktas på varmt stål. Emaljen smälter då fast på stålet och stålet värms därefter på nytt i ugnen så att emaljen smälter ut (Ellis, 1997, pp. 14,22). Denna metod användes för de varmsiktade provserierna i huvudundersökningen. När stålet är varmt är det omöjligt att få det oxidfritt före emaljering eftersom stålytan kommer att oxideras omedelbart vid emaljeringsstemperatur. Ellis (1997) anger att allt glödska ska slås av eller skrapas av före påföring av emaljen och att det är en anpassning av den klassiska emaljeringsmetoden som används för badkar. Inga anmärkningar finns om att någon speciell emalj ska användas (Ellis, 1997, pp. 14,22). Hur exakt man ska tolka att allt glödska ska tas bort är inte helt enkelt. Det är inte möjligt att få ytan oxidfri vid de temperaturerna i en oxiderande miljö. Jag tolkar det som att ytan ska skrapas från löst glödska och att det inte ska finnas klumpar av glödska på ytan. Det var också den metod jag använde under testserierna i huvudundersökningen. Andrews et al. ger inga anvisningar eller information angående torr- och varmapplicerad emalj på smidbara stålsorter. När det gäller emalj för den klassiska torr- och varmemaljeringen på gjutjärn, anger Andrews et al. (2011) att dessa emaljer är mer komplicerade än emalj för stålplåt och att de innehåller mer flussande ämnen. Det används alltid grundemalj som ska skydda stålytan mot oxidation och glödska-bildande under uppvärmningen av stålet. Denna grundemalj löser upp all järnoxid och andra föroreningar som finns på ytan och den fungerar samtidigt som skydd för täckemaljen så att järnet inte kan reducera ämnen i täckemaljen. Grundemaljen för torr- och varmapplicering på gjutjärn läggs på stålet som en våt emaljslipp när stålet är rengjort och kallt. Grundemaljen värms så tillsammans med stålet och skyddar det under uppvärmningen. De äldre grundemaljerna för denna arbetsmetod kallas sintergrund och smälter inte ut till ett jämnt och blankt skikt (Andrews et al., 2011, pp. 329-331). Ellis (1997) skriver att "hot dusting" metoden är anpassad och det är en viktig skillnad mellan gjutjärn och smidbart stål, men det är ganska stora avvikelser från den metod som "hot dusting" är baserad på, om man följer beskrivningen i Andrews et al. (2011). Grundemalj som i större grad klarar att lösa upp glödska är antagligen en stor fördel när ytan innehåller mycket mer oxider än vid vanlig kallapplicerad grundemalj. I testserierna med varmapplicerad emalj på stål med glödska kvar satt emaljen betydligt sämre än den gjorde i serierna med kallapplicerad emalj på stål utan oxidskikt. Emaljerna i de varmapplicerade serierna lossnade inte av sig själva men vid knäckproven lämnade de en mycket renare stålyta och emaljen lossnade också utanför det egentliga deformationsområdet vilket tyder på dålig vidhäftning. Resultatet från de varmapplicerade serierna måste dock tolkas med förbehåll för att ugnstemperaturen var avsevärt högre än i

de kallapplicerade serierna. Ugnsatmosfären skiljer också. De varmapplicerade serierna brändes i gasugnen och därför var nivån av vattenånga i ugnsatmosfären betydligt högre än de var i elugnen, där de kallapplicerade testserierna brändes. Vattenångan bildas när propanen förbränns inne i ugnen. För att undvika det används muffelugnar där förbränningsgaserna är skilda från utrymmet där föremålen som emaljeras befinner sig (Andrews et al., 2011, pp. 511-523). Emaljen som applicerades torrt och varmt med grundemalj ser ut att kunna sitta tillräckligt bra för användning i konstsmidessammanhang, men i detta projekt är det gjort för lite undersökningar för att kunna komma med några ordentliga slutsatser. Det behövs nya serier med bättre temperaturkontroll först och främst och andra uppvärmningsmetoder.

Våtapplicering

Den våtsprutade emaljen gav ett betydligt jämnare resultat än både den våtpenslade och torrstödda emaljen i testserierna. I utgångspunkt borde emaljerna flyta ut helt jämnt med alla appliceringsmetoderna. Förutom att sprutningen ger ett jämnare emaljskikt när den appliceras så blir också emaljskiktet tunnare och det i sin tur gör det lättare för emaljen att flyta ut till ett jämt skikt, vilket anges i litteraturen (Andrews et al., 2011, p. 444). Att det är mindre emalj på de sprutade provbitarna jämfört med de med siktad emalj, kan bidra till att emaljen blir slätare. Jag antar dock att den sprutade emaljen blir slätare därför att den blir mer jämnt fördelad.

Torrapplicering

Resultatet från emaljeringen av takkupan till lampan är intressant i förhållande till resultatet från de torrströdda provbitarna. All emalj torrströddes på takkupan och jag hade förväntat mig ett resultat ganska likt de torrströdda provbitarna, med småvågig och ojämn yta, men den torrsiktade ytan på takkupan är smält helt slät och den är inte bränd varmare än provbitarna. Den var dock inne i ugnen betydligt längre än provbitarna eftersom det tog ganska lång tid att värma upp stålet till smälttemperatur för emaljen. De exakta bränntiderna för takkupan blev inte registrerad, men första bränningen av grundemaljen tog längst tid eftersom takkupan var kall vid insättandet. De båda täckemaljbränningarna gick fortare eftersom stålet då var betydligt varmare.

Testning av vidhäftning

Vid testningen av emaljens vidhäftning till metallen tog jag huvudsakligen utgångspunkt i The Institute of Vitreous Enamellers klassificeringskarta med bilder och beskrivningar av deformerade provbitar och hur emaljen ser ut (The Institute of Vitreous Enamellers, 2007). I det materialet är provbitarna deformerade genom att en fallande vikt med kulrunt huvud

har tryckt en buckla bakifrån plåten. Plåten blir då konvex på toppen och konkav ner på sidorna mot den plana plåten. Eftersom jag inte hade plåtar som skulle fungera med den testmetoden utgick jag från den enklare metoden där provbitarna endast böjs. Eftersom bedömningen av emaljen enligt The Institute of Vitreous Enamellers görs i det konkava området av den deformerade emaljen, bestämde jag mig för att böja emaljproven så att emaljsidan blev konkav. Senare läste jag att man vid bøjtest böjer proven så att emaljskiktet sträcks. Emaljskiktet kommer då på utsidan av böjen (Andrews et al., 2011, p. 615), medan jag har i mina test komprimerat emaljskiktet. Det är alltså en tydlig avvikelse i min testmetod gentemot standarden enligt Andrews et al. (2011). Trots det tror jag inte att det gör resultatet väsentligt annorlunda, emaljskiktet i båda fallen blir belastat tills det brister och mängden kvarhängande emalj bedöms.

Giftiga pigment

Det är ett tydligt problem att flera av emaljerna innehåller giftiga ämnen som till exempel tungmetaller. WG Ball har varit snabba och tydliga med att upplysa om ämnen i sina emaljer. De poängterar också på sin hemsida att deras emaljer är utan arsenik och utan bly. I förfrågan på epost om emaljerna innehåller kadmiumföreningar, upplyser WG Ball om att de gula, orange och röda pigmenten innehåller kadmiumselenföreningar. Thompson Enamel har inte kommit med några tydliga upplysningar om innehållet i emaljerna. Per telefon upplyste de att det fanns kadmium och arsenik i emaljerna utan att specificera närmare vilka emaljer det gällde. Som jag ser det är det ett tydligt problem att de enda två tillverkarna av emalj som är tillgängliga för hobby och småskalig hantverksproduktion använder de giftiga pigmenten. Det verkar finnas icke giftiga röda, gula och orange pigment som har utvecklats sedan början av 2000-talet (Jansen & Letschert, 2000), men det finns inga referenser till dessa i emaljeringslitteraturen. Inom keramikområdet finns det nya glasyrer som ska vara ogiftiga men om det verkligen är kadmiumfria pigment eller endast zirkoninkaplat pigment som är så stabil att det inte läcker kadmium är oklart. Det är inte så enkelt att få fram mer information. Det är ett tydligt område att arbeta vidare med, för att hitta miljövänliga och hälsovänliga emaljer. Det är i alla fall mycket viktigt att skydda hälsa och miljö om man arbetar med pigment som innehåller eller kan misstänkas innehålla giftiga ämnen.

Sammanfattningsvis kan sägas, att undersökningens upplägg med provbitsundersökningar och därefter färdigställande av ett fullskaligt objekt, gav upphov till intressanta resultat som bidrar med ny kunskap till området.

6 Slutsatser

De två undersökningar som har genomförts inom detta mastergradsprojekt kompletterar varandra i att hitta svar till frågeställningen. Provbiterundersökningen visar betydelsen av specifika parametrar, som hur det fungerar med olika ståltyper, betydelsen av olika appliceringsmetoder, betydelsen av glödskalet, oxidskikt, blåstrad yta och slät yta. Den utövande delen av studien ger ett tydligt exempel på hur emaljen fungerar i realiteten när hela tillverkningsprocessen är med. De tre emaljfälten på lampan visar på tre möjliga appliceringsmetoder som ger varsitt uttryck på den emaljerade ytan. I detta finns det olika uttrycksmöjligheter för en konstmed. Den utövande fullskaliga testserien återför erfarenheterna och empirin till den reella situationen och kontextualiserar provbiterundersökningen.

Slutsatsen angående möjligheterna med olika ståltyper är först och främst att det går att använda varmvalsat stål för konstsmidesobjekt. Det är dock under förutsättning att ytan är oxidfri och att grundemalj används. Man får vara beredd på några små blåsor men i stort sett blir ytorna helt felfria. Att provbitarna med fjäderstål blev så bra visar med tydlighet att det fungerar. De varmvalsade stålen gav också bra resultat med fler appliceringstekniker. De tekniker som jag har experimenterat med och som fungerade med det varmvalsade stålet är våtsprutning, våtpensling och kallströning torrt med sikt.

När det gäller emaljering på stål utan oxider och utan grundemalj så fungerar det på stålsorter upp till kallvalsat standardstål i kolnivå. Man bör vara förberedd på mer blåsor än med grundemalj. De lämpligaste materialen för emaljering utan grund är purusFe och Armco, men för att få tillräckligt bra vidhäftning krävs blåstring av ytan. Detta blev tydligt med Skillingestålet och det kallvalsade stålet som hade släta ytor innan emaljering, och där emaljen lätt lossnade i stora flak. Den blåstrade ytan ser ut att ge en mycket bra yta för emaljen att fästa på och det är också den yta som uppges vara den mest lämpliga för emaljering (Andrews et al., 2011, p. 184).

För att kunna dra klara slutsatser angående varm- och torrströning i gasugn, skulle det behövas fler experiment. Ett stort problem var att det under testserierna med varm- och torrströning i gasugn var för varmt i ugnen. Det är dock intressant att emaljen inte blev mer skadad eller missfärgad med tanke på att temperaturen var 150°C till 200°C över temperaturen i elugnen. Därför får resultaten från de serierna tolkas med försiktighet, och det krävs mycket mer experimentering för att hitta användbara metoder med en gasässa. Dock finns det intressanta delar som kan tas ut ur de undersökningsserierna. Med glödskalet kvar blir vidhäftningen sämre än med en oxidfri yta, men resultatet från de

varmströdda testserierna i huvudundersökningen tyder på att det ska gå att använda metoden för emaljering på konstsmide.

Bränning i gasässa är en svårare metod än bränning i elektrisk ugn, eftersom det inte finns någon enkel metod att kontrollera temperaturen. Med en elektrisk ugn och speciellt en modern temperaturstyrning kan temperaturen hållas jämn och exakt. Gasässjan har också det tydliga problemet att ugnsatmosfären innehåller förbränningsgaser och då i synnerhet vattenånga.

När det gäller sprutningen av emaljen var det märkligt att en del emaljer tycktes innehålla grövre korn. Den gröna emaljen Thompson 791 Hunter green, innehöll så grova korn att de syntes i den färdiga emaljen. Jag misstänker att den inte malts korrekt. Det var stor variation i hur väl emaljen lät sig sprutas. Det var inte möjligt att spruta med mindre munstycke än 0,8mm, men alla grundemaljerna och några täckemaljer fungerade fint med 0,8mm munstycke. Thompson 799 Sky Blue emaljen krävde däremot 1,4mm munstycke. Emaljen från Skillinge fungerade väldigt bra att spruta med, medan Thompson var svårare. Men samlat sett har jag bara testat några få emaljer och det hade behövts fler experiment för att det ska gå att dra några mer tydliga slutsatser kring hur väl de olika emaljerna låter sig sprutas. Sprutning som appliceringsmetod generellt är utmärkt för att få jämna och släta emaljskikt. Den våtsprutade emaljen blir också jämnare i färgen, jämfört med våtpensling, vilket Thompson 799 Sky Blue emaljen tydligt visar. På det våtpenslade provet K121 är färgen ojämn som att emaljen har skilt sig något. Det är fält med en grönare nyans och andra fält med en blåare nyans. Men samma emalj applicerad med spruta på samma grundemalj, på det blå bandet runt lampkupan, ger ett mycket jämnare utseende. Där är det inga färgskiftningar i ytan.

Penslingen fungerade bra som appliceringsmetod, men det är en tydlig svårighet att lägga emaljen utan att den rinner iväg och blir ojämn. Penslingen har fördelen att det ger ett annat utseende än våtsprutning och torrströning och den kan därför användas när man önskar det specifika utseendet. På svampelementen passar det mer melerade utseendet som våtpenslingen ger, bra till objektens form och uttryck.

Det finns flera områden som lämpar sig för vidare experiment och forskning. De mest direkta är vidare experimentering med varmströningstekniken på varmt stål med oxidskiktet kvar. Experimenteringen på det området har bara påbörjats i det här arbetet. Med oxidskiktet kvar krävs det lite tekniska investeringar i smedjan och tekniken fungerar då direkt för en konstsmid.

En styrka med studien är att den visar på möjligheter till uttryck som de industriellt fokuserade böckerna inte tar upp därför att det blir betraktat som fel, eftersom dessa uttryck betraktas som fel eller avvikelser i den kontexten. De kriterier som industrin använder för vad som är bra emalj behöver inte alls gälla för hantverksmässigt konstsmide. Missfärgningar är i stället önskade effekter. Det som är sprickor i industrins ögon är mönster för konstsmiden. Men för att vara fullt användbart är det viktigt att kunna styra processen och kunna ta aktiva val om hur emaljen ska se ut, så att det är smeden som styr uttrycket.

Vad gäller fullskaliga smidesobjekt skulle det vara intressant att utforska möjligheten att göra större föremål, mer detaljerade föremål och grafiska mönster i ytan.

Vidare är experimentering med bränningen av emaljen med handhållen brännare intressant, antingen bränning med syrgas- och acetylenbrännare eller en propanbrännare. Med handhållen brännare blir det enklare att värma en bit av ett stycke och smälta in emalj där. Då kan man jobba på stora arbetsstycken utan att behöva ha en ugn till hela föremålet eller emaljera föremålen i delar och därefter svetsa dem samman. Det är då också möjligt att emaljera på delar som inte går in i en gasugn eller en elugn.

Det kunde vara intressant att se på möjligheterna med ett litet syrabad för att ta bort oxidskikt från stålet. En annan möjlighet att undersöka är elektrolytisk borttagning av oxiderna. Det är ett enklare alternativ till blästerskåp.

Om en vidare undersökning visar att det finns helt kadmiumfria pigment tillgängligt, men ingen av emaljproducenterna använder det i sina emaljer, så är det ett mycket intressant område att bygga vidare på. Det är både möjligt att färga ofärgade emaljfritter och att i ännu större grad bygga upp emaljer från grunden.

Emaljen på smidesjärnet bör fungera mycket bra i utomhusmiljö med tanke på att emaljeringen används för att skydda stålpaneler utomhus. Därför skulle det vara intressant att undersöka hur emaljering fungerar på smidda detaljer där endast delar av stålet är täckt med emalj. En sådan undersökning hade antagligen behövt göras över en längre tid.

Till slut kan jag konstatera, att detta forskningsprojekt givit upphov både till användbara slutsatser och inspiration till nya undersökningar och konstnärliga uttrycksmöjligheter.

Referenser/litteraturförteckning

- Adhesion. (2016). *Wikipedia* Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Adhesion>
- AK STEEL INTERNATIONAL. (2016). Chemical Composition. Retrieved from <http://www.aksteel.co.uk/1-products/0-ingot-iron/1-chemical-composition.html>
- Almar-Næss, A. (2003). *Metalliske materialer: struktur og egenskaper* (4. utg. ed.). Trondheim: Tapir.
- Andrews, A. I., Pagliuca, S., & Faust, W. D. (2011). *Porcelain (vitreous) Enamels and Industrial Enamelling Processes: The Preparation, Application and Properties of Enamels*: Tipografia commerciale.
- Ball, J. (2016). WGB Home. Retrieved from <http://www.wgball.co.uk>
- BE Group Sverige AB. (2016). Kemisk analys. Retrieved from http://www.begroup.com/sv/BE-Group-sverige/Produkter/Stal_ror/Produktinformation/Stalsorter/Kemisk-sammansattning-NY/
- Bergland, H. (2000). *Kunsten å smi: teknikk og tradition*: Gyldendal Norsk forlag as.
- Bonde-Wiiburg, E. (2000). Karlebo handbok utgåva 15: Liber.
- Carpenter, S. (2016). Smykker. Retrieved from <http://kunstsmed.no/smykker/>
- Celsa steel service. (2016). Monterad armering. Retrieved from http://celsa-steelservice.se/wp-content/uploads/2012/06/Monterad_armering.pdf
- Dextrin. (2016). *Wikipedia* Retrieved from <https://sv.wikipedia.org/wiki/Dextrin>
- Dopning (fysik). (2016). *Wikipedia* Retrieved from [https://sv.wikipedia.org/wiki/Dopning_\(fysik\)](https://sv.wikipedia.org/wiki/Dopning_(fysik))
- Dragant. (2016). *Wikipedia* Retrieved from <https://sv.wikipedia.org/wiki/Dragant>
- Ellis, T. (Ed.) (1997). *Thompson Enamel Workbook*: Thompson Enamel Inc.
- Enander, L., & Norén, K.-G. (2006). *Klassiskt järnsmide*. Stockholm: Nielsen & Norén Förlag.
- Enander, L., & Norén, K.-G. (2008). *Nya järnsmidesboken*. Stockholm: Nielsen & Norén förlag.
- Eppler, R. A., & Eppler, D. R. (2000). *Glazes and glass coatings*: Amer Ceramic Society.
- Faradays bur. (2016). *Wikipedia* Retrieved from https://sv.wikipedia.org/wiki/Faradays_bur
- Flygt, E. (2005). Boken om glas. *Växjö: Glafo. ISBN, 91-631*.
- HKM Stahl GmbH. (2015). Reineisen - purusFE [datablad]: HKM Stahl GmbH.
- Hundeshagen, H., & Klingebiel, H. (1957). *Der Schmied am Amboss*. Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin.
- Jansen, M., & Letschert, H. P. (2000). Inorganic yellow-red pigments without toxic metals. *Nature*, (404), 980-982. Retrieved from <http://www.nature.com/nature/journal/v404/n6781/full/404980a0.html>
- Kyrkbyns järnsmide AB. (2016). startsida. Retrieved from <http://kyrkbynsjarnsmide.com>

- Luftfuktighet. (2016). *Wikipedia* Retrieved from <https://sv.wikipedia.org/wiki/Luftfuktighet>
- Maskall, K. A., & White, D. (1986). *Vitreous Enamelling: a guide to modern enamelling practice*: Published on behalf of the Institute of Ceramics by Pergamon Press.
- Mesh (scale). (2016). *Wikipedia* Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Mesh_\(scale\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mesh_(scale))
- Norinder, A., & Svahn, O. (Eds.). (1965). *Tekno's Metallindustrins Handboken*. Stockholm: Teknografiska institutet.
- Ore, S. (2009). kolloider. *STORE NORISKE LEKSIKON*. Retrieved from <https://snl.no/kolloider>
- Pagliuca, S., & Faust, W. D. (2011). PORCELAIN (VITREOUS) ENAMELS.
- Pentronic. (2016). Termoelement teori. Retrieved from <http://www.pentronic.se/start/temperaturgivare/teori-om-givare/teori-om-termoelement.aspx>
- Petzold, A., & Pöschmann, H. (1987). Email und Emailiertechnik.
- PID-regulator. (2016). *Wikipedia* Retrieved from <https://sv.wikipedia.org/wiki/PID-regulator>
- Salzgitter Flachstahl GmbH. (2014a). DC01 Weiche Stähle zum Kaltumformen. Retrieved from http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/kaltgewalztes_feinblech/deu/dc01.pdf
- Salzgitter Flachstahl GmbH. (2014b). DC01EK Weiche Stähle zum Emailieren. Retrieved from http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/kaltgewalztes_feinblech/deu/dc01ek.pdf
- Salzgitter Flachstahl GmbH. (2014c). DC04EK Weiche Stähle zum Emailieren. Retrieved from http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/kaltgewalztes_feinblech/deu/dc04ek.pdf
- Salzgitter Flachstahl GmbH. (2014d). DC06 Weiche Stähle zum Kaltumformen. Retrieved from http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/kaltgewalztes_feinblech/deu/dc06.pdf
- Salzgitter Flachstahl GmbH. (2014e). DC06EK Weiche Stähle zum Emailieren. Retrieved from http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/kaltgewalztes_feinblech/deu/dc06ek.pdf
- Salzgitter Flachstahl GmbH. (2014f). DC07 Weiche Stähle zum Kaltumformen. Retrieved from http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/kaltgewalztes_feinblech/deu/dc07.pdf
- Shelby, J. E. (2005). *Introduction to glass science and technology*: Royal Society of Chemistry.
- The Institute of Vitreous Enamellers. (2007). Visual classification of adhesion of vitreous enamel to steel.
- Untrachy, O. (1957). Enameling on metal.

Varshneya, A. K. (2013). *Fundamentals of inorganic glasses*: Elsevier.

WG Ball. (2016). Wet Process Enamels on Steel in Liquid Form. Retrieved from <http://www.wgball.co.uk/product-category/wet-process-leadfree-enamels-on-steel-supplied-in-liquid-form/>

Wratil, J. (1984). *Vitreous Enamels*. London: Borax Holdings Limited.

Ordlista

Adhesion: är den molekylära vidhäftningen mellan två olika kroppar. Den gör att till exempel vattendroppar hänger fast på glasrutor. Adhesion är inte det samma som friktion om kropparna är lika kallas det kohesion (Adhesion, 2016).

Amorft: översätts bäst till icke kristallint material. Det betyder att det inte har ett atommönster som upprepas över större områden (Flygt, 2005, p. 15).

Carbon boil: uppträder som små svarta eller grå prickar i emaljytan. De beror på koldioxid och kolmonoxid som bubblar i gasform genom emaljskiktet under bränningen av emaljen. Kolet har sitt ursprung i stålet medan syret som reagerar med kolet kan komma från emaljen, metalloxider på stålet eller direkt från atmosfären i ugnen (Andrews et al., 2011, p. 745; Maskall & White, 1986, pp. 53,58)

Dextrin: ämne framställt genom upphettning av stärkelse. Till skillnad från stärkelse är det lösligt i kallt vatten och bildar en starkt klistrande vätska (Dextrin, 2016).

Dopningen: är en process där man tillsätter andra ämnen för att påverka strukturen i ämnet och därmed dess egenskaper. Det kan göras för att till exempel påverka elektriska eller optiska egenskaper (Dopning (fysik), 2016).

Fishscaling: är ett fel som uppstår i emaljytan efter avsvälning, därför att lösligheten av atomärt väte minskar i stålet när det är kallt. Det atomära vätet tvingas då ut ur stålet. När det kommer till små hålrum mellan stålet och emaljen, förenar sig vätet till molekylärt väte. Det molekylära vätet kan inte passera genom stålet och därför fastnar det under emaljskiktet. Om tillräckligt mycket vätgas ansamlas blir trycket så högt att vätgasen spränger loss emaljskiktet. De loss sprängda emaljflaken liknar små fiskfjäll vilket jag tolkar som att det är det som har gett fenomenet dess namn (Andrews et al., 2011, pp. 693-695,758-759).

Faradays bur: ett utrymme som är avskärmat från elektromagnetiska fält med ett elektiskt ledande hölje (Andrews et al., 2011, pp. 457-460; Faradays bur, 2016).

Friformssmide: som namnet antyder kan verktygen användas för att skapa många olika former. Det skiljer sig mot sänksmide där verktygen har en sluten form och alla produkter får samma form. En helt tydlig gräns är inte enkel att dra mellan friformssmide och sänksmide. Enklare sänken används ofta av smeder som arbetar med friformssmide och

produkterna blir betraktade som friformssmide (Bonde-Wiiburg, 2000, pp. 400-401; Enander & Norén, 2006, pp. 4-5).

Fritta: mald glasmix till emalj (Andrews et al., 2011, p. 829; Wratil, 1984, p. 2).

Gnistprov: är ett enkelt prov för att avgöra stålets kemiska sammansättning. Det kräver träning och helst referensbitar med känd kemisk sammansättning. Provet görs genom att slipa på stålet och observera hur gnistorna ser ut. Om stålet har låg kolhalt blir gnistorna som långa gula streck. När kolhalten ökar så kommer gnistorna att mer och mer explodera mens de flyger i väg och bilda nya gnistor. Med ökande kolhalt blir det mer fyrverkeri (Bergland, 2000, pp. 56-57; Enander & Norén, 2008, p. 40). När det gäller äldre ståltyper så är min erfarenhet att de ger betydligt rödare gnistor och mindre explosioner på slutet.

Gummi arabicum: mjölksaft från afrikanska akacia träd. Används som förtjockningsmedel i bland annat livsmedel (Andrews et al., 2011, p. 831).

Kristallina material: material som har en ordnad struktur, där avståndet mellan atomerna och mönstret atomerna sitter i upprepar sig över stora avstånd (Varshneya, 2013, pp. 13-14).

K-termoelement: är en temperaturgivare som använder två elektriska ledare med olika kemisksammansättning. Trådarna är elektiskt isolerade från varandra utom i ändarna. Den varma punkten är placerad är man önskar att mäta temperaturen. Den andra, det kalla lödstället är placerat i mätinstrumentet. På grund av temperaturskillnaden uppstår en spänning mellan trådarna och spänningen beror på temperaturen (Pentronic, 2016).

Kolloider: är i partiklar som är mycket små. Mellan en milliondels och en tio tusendels millimeter. Kolloidala partiklar kan vanligtvis bara ses med elektronmikroskop (Ore, 2009).

Mobility: är ett mått på ändringen i flöde på ett flytande material när trycket ändras (Andrews et al., 2011, p. 838).

Opak: ogenomskinlig (Andrews et al., 2011, p. 840).

PID-styrning: är en proportionerande, integrerande och deriverande process kontrollenhet. De anpassar sig efter ugnens egenskaper genom att mäta ugnens temperatur och jämföra med tillförd effekt. Man kan då hålla en önskad temperatur med hög noggrannhet. För att utnyttja PID-styrningen krävs i praktiken ett externt Solid State relä för att styra strömmen till ugnen. Den PID som användes till alla bränningar i denna avhandling är en EMKO ESM-4450 (PID-regulator, 2016).

Rekristalisationspunkten: är när materialet är så varmt att kristallstrukturen i materialet kan ombildas. Om materialet är kallare byggs deformationsspänningar upp i materialet och det krävs succesivt högre tryck för att materialet ska plastiskt deformeras. Slutligen spricker materialet när spänningarna blir för stora. När materialet är varmare än rekristalisationspunkten leder spänningarna i materialet till en nybildning av kristallstrukturen och spänningarna försvinner (Almar-Næss, 2003, pp. 124-134).

Slipp: emalj vatten blandning (Andrews et al., 2011, pp. 423,850).

Sänksmide: se friformssmide för förklaring.

Sättverktyg: verktyg som placeras på stålet och som smeden slår på för att forma stålet (Bergland, 2000, p. 44).

Tragant: eller också kallat dragant: ett ämne från den asiatiska ärtväxten Astragalus. Saven torkas och kokas och ger ett gummiliknande ämne. Tillsätts i emaljslippen för att ge den torra men obrända emaljen större styrka (Andrews et al., 2011, p. 856; Dragant, 2016).

Vanna: En ugn för smältning av glas eller emalj. Materialet ligger i botten av ugnen och det finns ingen degel. Värmingen sker från ovansidan (Flygt, 2005, pp. 69-71).

Yield value : är en term som används på mått för hur stor kraft som krävs för att en emaljslipp ska börja flyta (Andrews et al., 2011, p. 861).

Ässjesvetsa: är en metod för att sammanfoga stålbitar. Det är en trycksvetsmetod där inget av materialet är smält. Stålbitarna som ska fogas samman värms till mellan 1150°C och 1250°C beroende på stålsort. När stålet är varmt slås bitarna samman med hammare. Det är den äldsta metoden att sammanfoga stål (Bergland, 2000, pp. 58-59).

Bildförteckning

Bild 1 till 76 foto: Ola Svensson

Alla bilder i bilagor, foto: Ola Svensson

Bilagor

Inledande testserie

Alla bitar är av stål typ K, kallvalsat stål EN 10130 DC01. Alla prov är brända i en Naber emalj ugn styrd av en EMKO-4450 PID-styrning via ett Siemens Solid State relä och ett standard K-termoelement för temperatur. Det redovisade S värdet är PID-styrningens Set value, vilket är måltemperaturen. Termoelementet sitter i ugnen placerat ca 1cm från taket, in genom ugnens bakvägg. Total ugnshöjd är 10cm invändigt. Alla provbitar är placerade på en rostfri ståljigg med ca 2cm höga pigga som provbitarna vilar på under bränning. Provbitarna är då placerade ca mitt i ugnen. Provbitarna är vägda före påföring av emalj och före bränning av emaljen för att bestämma mängden emalj på vare prov.

Viktmätningarna är gjorda med en Kern KB 650-2NM tidigare certifierad precisionsvåg. E=0,1g vilket är certifieringsprecisionen. D=0.01g vilket är mät noggrannheten som visas på displayen. Torrsiktningen av emaljen är gjord med WG Balls emaljsiktar med maskvidd ca 13 trådar på 10mm. Kontrollmätningar av temperatur är gjorda med en Fluke t3000 FC termometer med standard K-termoelement.



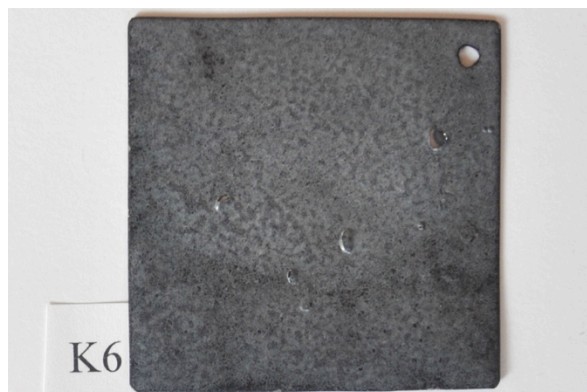
K1 60x60mm WG, Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, glödd i 800°C, lätt slipad, S 800°C, bränd i 7min.



K2 60x60mm, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, S 810°C, bränd i 3min.



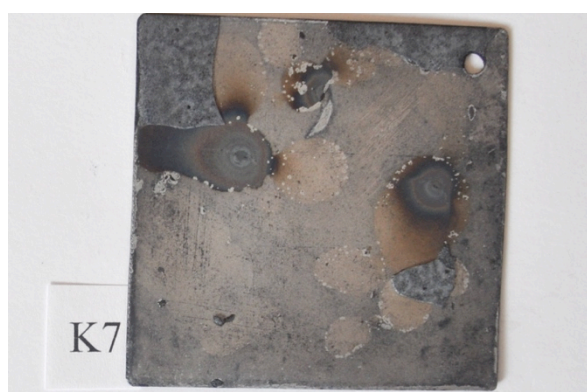
K3 60x60mm, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, S 820°C.



K6 60x60mm, WG Ball grund, glödd och lätt slipad, emalj strödd torrt & kallt, 1,16g emalj, S 820°C, bränd i 3min.



K4 60x60mm, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, S 830°C, bränd i 7min.



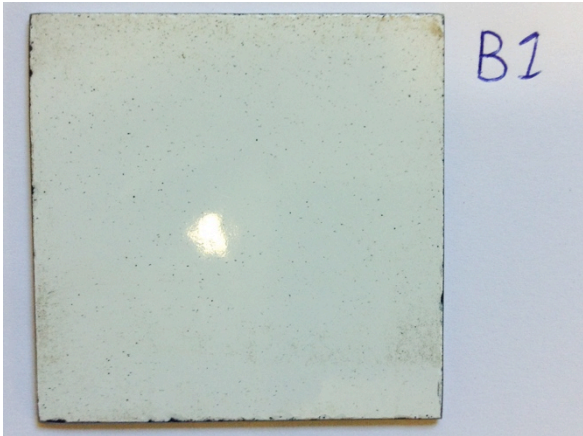
K7 60x60mm, WG Ball grund, glödd och lätt slipad, emalj strödd torrt & kallt, 2,07g emalj, S 820°C, bränd i 4min.



K5 60x60mm, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, S 830°C, bränd i 6min.

Inledande vidhäftningstestserie

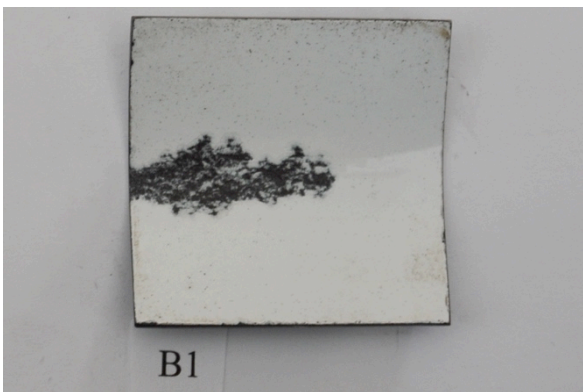
Alla prov är brända med samma utrustning som i första testserien. Stål typ B är stål från en ett badkar och var emaljerat. Alla utom ett prov är avemaljerat före ny emaljering. Stål typ S är ett djupdragningsstål från Skillinge emalj. Stål typ V är ett varmvalsat stångstål med norm S235. Stål typ K är kallvalsat stål EN 10130 DC01.



B1 60x60mm, Original emaljskikt. Svart grundemalj och vit täckemalj.



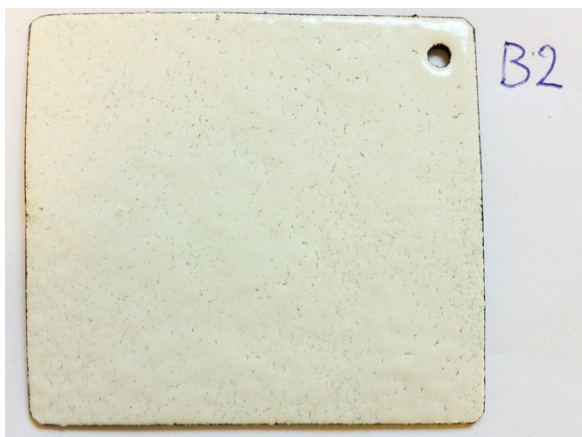
B2 65x61mm, av emaljerad genom glödning i ugn och därefter kylning i vatten. Sist slipad.



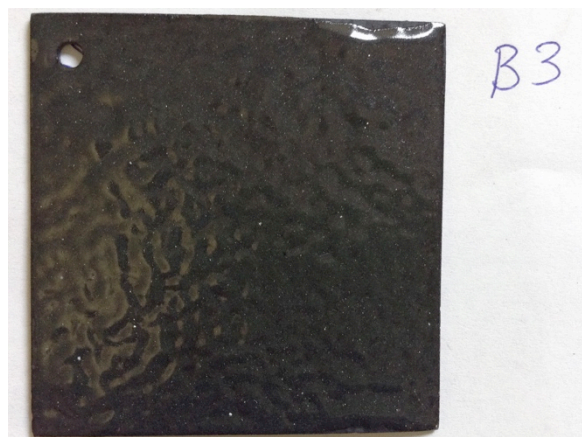
B1 Knäckt, visuell klassificering enligt IVE Klass 1. Böjd 41° , radie på böjningen ca 23mm.



B2 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,72g emalj, S 830°C .



B2 WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,46g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



B3 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,15g emalj, S 830°C. Bränd i 4min



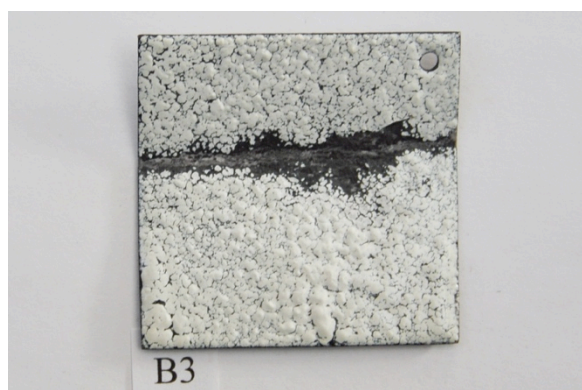
B2 Knäckt, visuell klassificering enligt IVE Klass 3. Böjd 20°, radie på böjningen ca 6 mm.



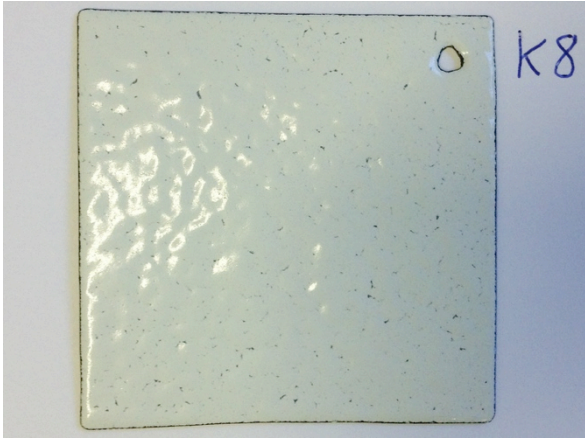
B3 Thompson 534 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,58g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



B3 60x60mm, av emaljerad genom glödning i ugn och därefter kylning i vatten. Sist slipad med vinkelslip.



B3 Knäckt, visuell klassificering enligt IVE Klass 3. Böjd 22°, radie på böjningen ca 13 mm.



K8 60x60mm, WG Ball grund, glödd och renslipad, emalj strödd torrt & kallt, 1,54g emalj, S 820°C, bränd i 5min. Därefter emaljerad med WG Ball 12541 White, bränd i 3min, S 830°C.



K9 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt 1,53g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



K8 Knäckt, visuell klassificering enligt IVE Klass 2. Böjd 42°, radie på böjningen ca 23 mm.



K9 Thompson 534 White, emalj strödd torrt & kallt 1,55g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



K9 60x60mm, glödd och renslipad yta.



K8 Knäckt, visuell klassificering enligt IVE Klass 2. Böjd 41°, radie på böjningen ca 23 mm.



S1 50x60mm, WG Ball grund, glödd och renslipad, emalj strödd torrt & kallt, 1,76g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



S2 50x60mm, glödd och renslipad.



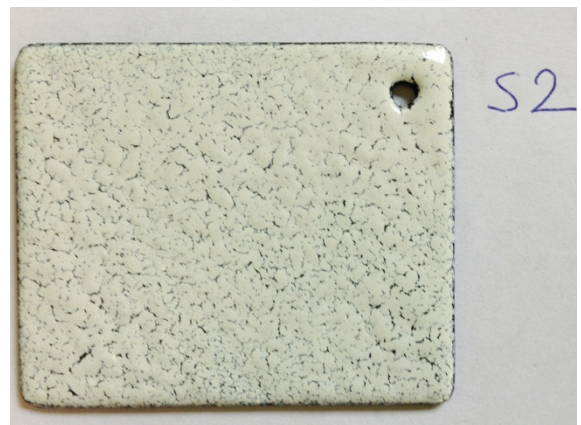
S1 WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,65g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



S2 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt 1,44g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



S1 Knäckt, visuell klassificering enligt IVE Klass 3. Böjd 20°, radie på böjningen ca 35 mm.



S2 Thompson 534 White, emalj strödd torrt & kallt 1,27g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



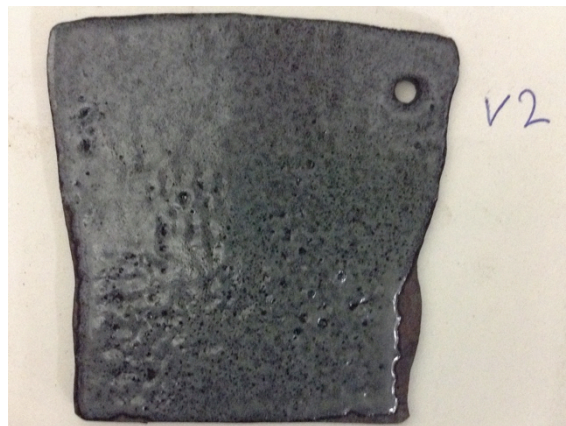
S1 Knäckt, visuell klassificering enligt IVE
Klass 3 eller 4. Böjd 30°, radie på
böjningen ca 24 mm.



V2 Utsmidd från stång med oxiderad yta.
55x60mm.



V1 Utsmidd från stång med oxiderad yta.
58x54mm.



V2 WG Ball grund, emalj strödd torrt &
kallt, 1,8g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



V1 Thompson grund GC-16, emalj strödd
torrt & kallt 2,14g emalj, S 830°C, bränd i
4min.



V2 WG Ball 12541 White, emalj strödd
torrt & kallt, 2,23g emalj, S 830°C, bränd i
4min.



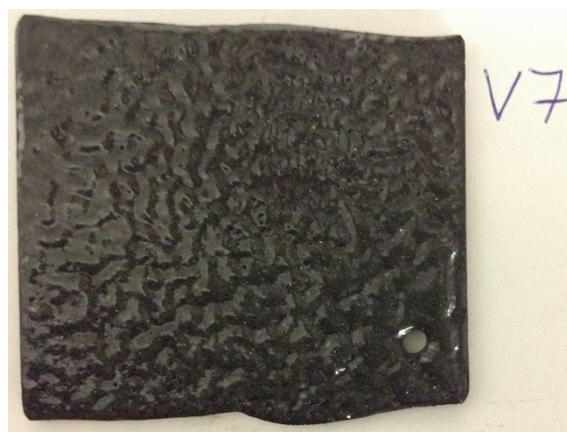
V6 60x52mm, Smidd från stång renslipad med vinkelslip.



V7 60x51mm, Smidd från stång renslipad med vinkelslip.



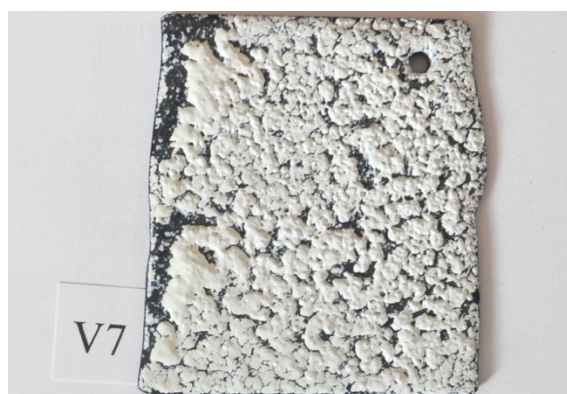
V6 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,27g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



V7 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt 1,97g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



V6 WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 2,05g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



V7 Thompson 534 White, emalj strödd torrt & kallt, 2,32g emalj, S 830°C, bränd i 4min.

Testserie med tid och temperatur

Alla prov är brända med samma utrustning som i första testserien. Stål typ K är kallvalsat stål EN 10130 DC01.



K10 glödd och lätt slipad, Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1.91g emalj, S 830°C, bränd i 2min.

K12 glödd och lätt slipad, Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,04g emalj, S 830°C, bränd i 8min.



K13 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,16g emalj, S 830°C, bränd i 2min.



K11 glödd och lätt slipad, Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,04g emalj, S 830°C, bränd i 4min.



K14 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,03g emalj, S 830°C, bränd i 4min.





K15 blev kasserad pga. blandning av emaljer. Ersatt med K29.



K17 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,10g emalj, S 840°C, bränd i 4min.



K29 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,03g emalj, S 830°C, bränd i 8min.



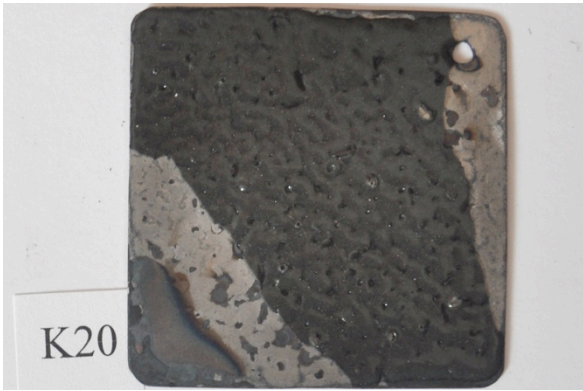
K18 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,11g emalj, S 840°C, bränd i 8min.



K16 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,11g emalj, S 840°C, bränd i 2min.



K19 Glömde tiden ersatt med K20.



K20 glödd och lätt slipad, Thompson grund
GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,32g
emalj, S 840°C, bränd i 2min.



K23 glödd och lätt slipad, Thompson grund
GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1,95g
emalj, S 850°C, bränd i 2min.



K21 glödd och lätt slipad, Thompson grund
GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,05g
emalj, S 840°C, bränd i 4min.



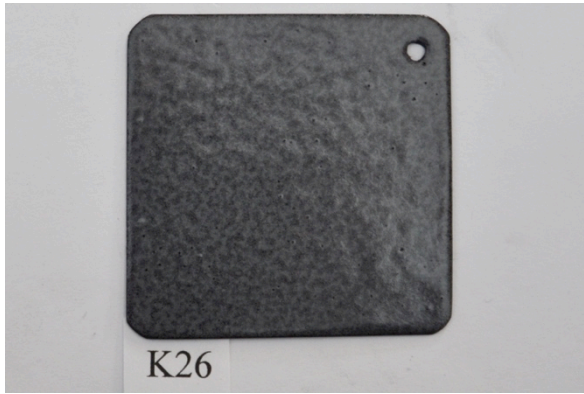
K24 glödd och lätt slipad, Thompson grund
GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,29g
emalj, S 850°C, bränd i 4min.



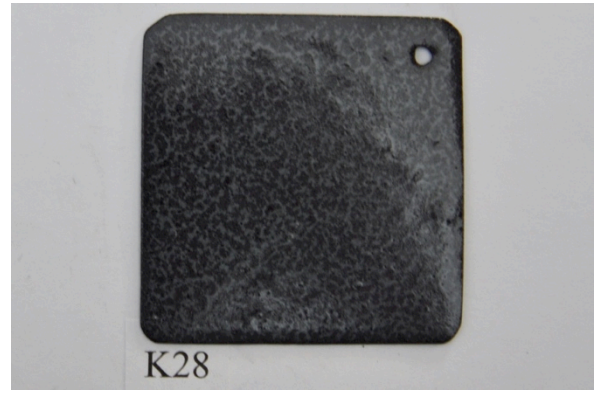
K22 glödd och lätt slipad, Thompson grund
GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1,90g
emalj, S 830°C, bränd i 8min.



K25 glödd och lätt slipad, Thompson grund
GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,15g
emalj, S 850°C, bränd i 8min.



K26 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,08g emalj, S 850°C, bränd i 2min.



K28 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,04g emalj, S 850°C, bränd i 8min.



K27 glödd och lätt slipad, WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,93g emalj, S 850°C, bränd i 4min.

Testserie med oxidskikt, glödska

Alla prov är brända med samma utrustning som i första testserien. Stål typ K är kallvalsat stål EN 10130 DC01.



K30 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,92g emalj, S 850°C, Bränd i 4min, **oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.**



K31 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,83g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



K31 Glödd 1 min i 850, tunt oxidskikt grå anlöpt. Lätt slipad efter glödning.



K31 Glödd 2 min i 850, tjockare oxidskikt som har bildat blåsor och släppt. Lätt slipad efter glödning.



K32 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,95g emalj, S 850°C, Bränd i 4min



K33 Glödd 4 min i 850, tjockare oxidskikt som har bildat blåsor och släppt, oxidering under blåsorna. Lätt slipad efter glödning.



K35 Glödd 1 min i 850, tunt oxidskikt grå anlöpt. Lätt slipad efter glödning.



K33 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,93g emalj, S 850°C, Bränd i 4min

K34 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,91g emalj, S 850°C, Bränd i 4min, **oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.** Provbiten försvann innan fotografering.



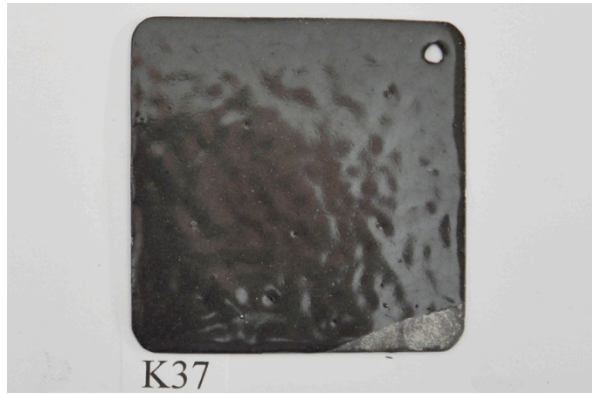
K35 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,08g emalj, S 850°C, Bränd i 4min



K36 Glödd 2 min i 850, tjockare oxidskikt men inga blåsor. Lätt slipad efter glödning.



K36 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,16g emalj, S 850°C, Bränd i 4min



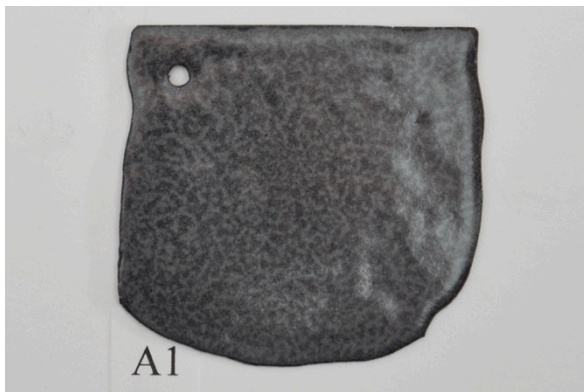
K37 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1,94g emalj, S 850°C, Bränd i 4min



K37 Glödd 4 min i 850, tjockare oxidskikt som har bildat blåsor och släppt, oxidering under blåsorna. Lätt slipad efter glödning.

Testserie med vidhäftning till glöddyta och oxidfri yta på 4 ståltyper.

Alla prov är brända med samma utrustning som i första testserien. Stål typ S är ett djupdragningsstål från Skillinge emalj. Stål typ V är ett varmvalsat stångstål med norm S235. Stål typ K är kallvalsat stål EN 10130 DC01. Stål typ A är Armco stål. Stål typ GS är ett gammalt stål som kommer från ett stålräcke. Stål typ P är purusFE stål.



A1 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,88g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. oxidskikt motsvarande det på A3.



A3 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,86g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



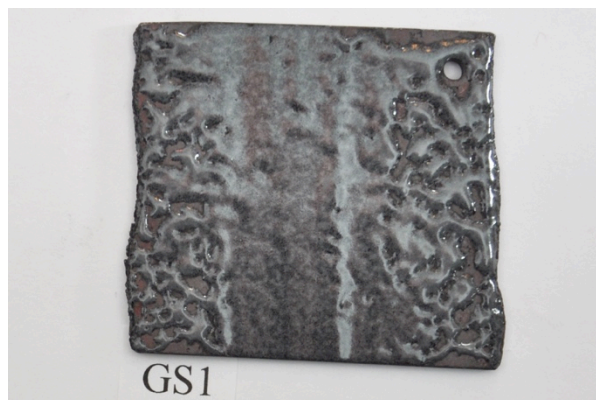
A2 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,76g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Renslipad yta med vinkelslip före bränning. Yta motsvarande GS2.



GS1 Stål smidd från rundstång. Glödskal på ytan från smidesprocessen.



A3 Stål smidd från fyrkantstång. Glödskal på ytan från smidesprocessen.



GS1 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,13g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



GS2 Stål smidd från rundstång. Renslipad med vinkelslip.



GS3 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,15g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



GS2 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,20g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



GS4 Stål smidd från rundstång. Ytan slipad oxidfri med vinkelslip.



GS3 Stål smidd från rundstång. Glödska på ytan från smidesprocessen.



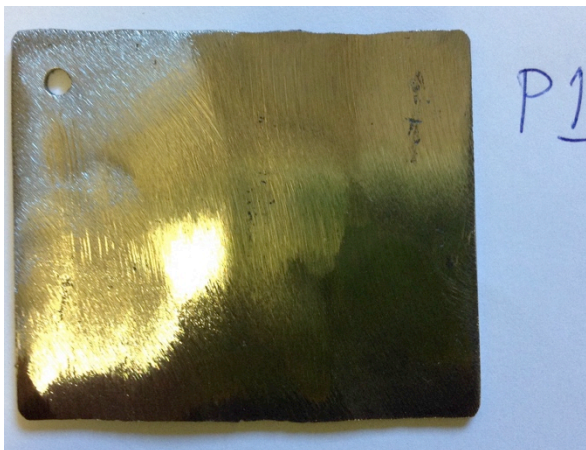
GS4 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1,98g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



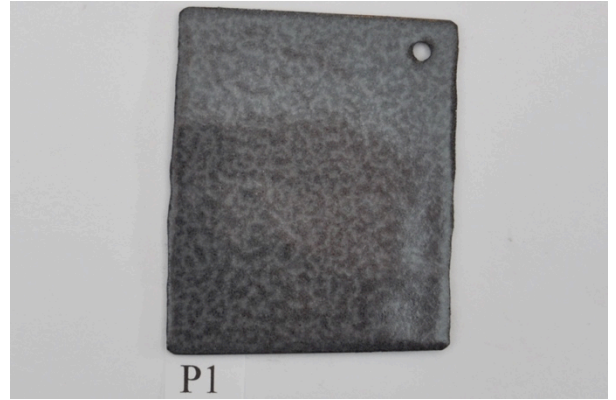
GS5 Stål smidd från rundstång. Glödskal på ytan från smidesprocessen i kanten på biten. Mitten blåstrad fri från oxid med punktbläster med kiselkarbid.



GS5 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, S 850°C, Bränd i 4min.



P1 Stål smidd från rundstång. Ytan slipad oxidfri med vinkelslip.



P1 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,93g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



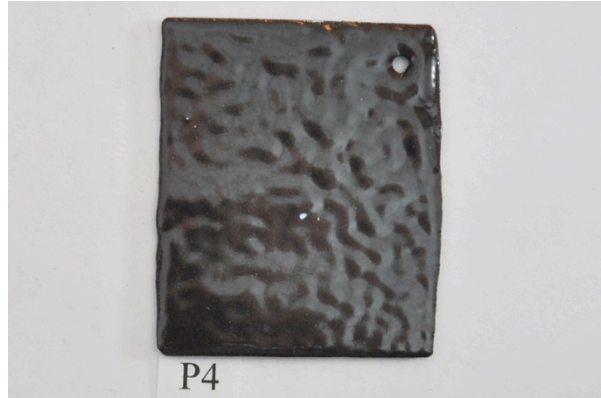
P2 Stål smidd från rundstång. Glödskal på ytan från smidesprocessen.



P2 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,80g emalj, S 850°C, Bränd i 4min



P3 Stål smidd från rundstång. Glödskal på ytan från smidesprocessen.



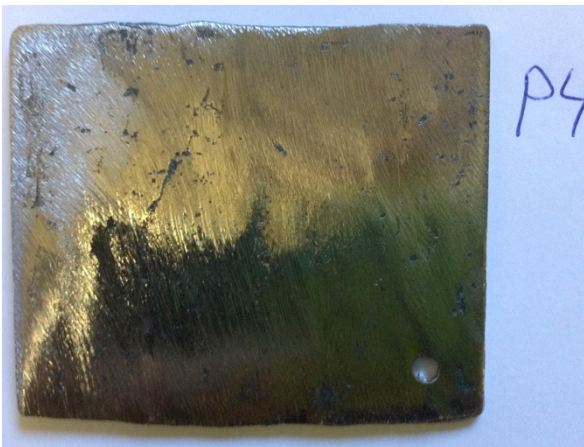
P4 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,27g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



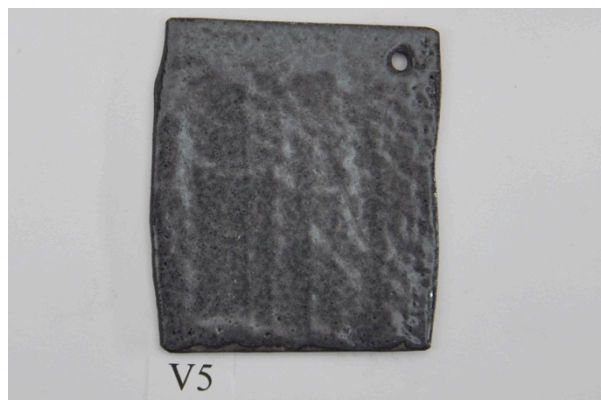
P3 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1,87g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



V5 Stål smidd från plattstång. Glödskal på ytan från smidesprocessen, på kanten av biten. Mitten blåstrad fri från oxid med punktbläster med kiselkarbid.



P4 Stål smidd från rundstång. Ytan slipad oxidfri med vinkelslip.



V5 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,95g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.

Testserie med bränntid och temperatur

Alla prov är brända med samma utrustning som i första testserien. Stål typ K är kallvalsat stål EN 10130 DC01.



K38 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,20g emalj, **S 820°C, Bränd i 4min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



K40 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1,86g emalj, **S 820°C, Bränd i 12min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



K39 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,19g emalj, **S 820°C, Bränd i 8min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



K41 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,23g emalj, **S 840°C, Bränd i 4min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



K42

K42 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,17g emalj, **S 840°C, Bränd i 8min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



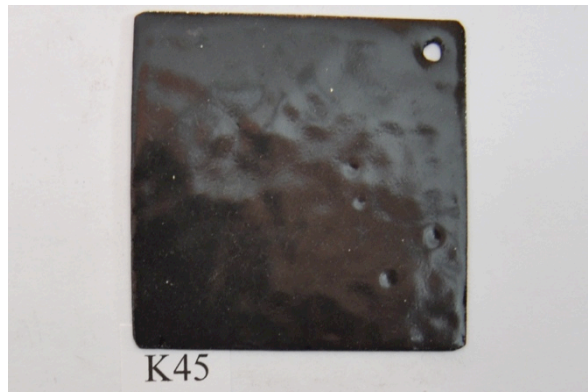
K44

K44 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 1,81g emalj, **S 860°C, Bränd i 4min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



K43

K43 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,01g emalj, **S 840°C, Bränd i 12min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



K45

K45 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,19g emalj, **S 860°C, Bränd i 8min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.



K46

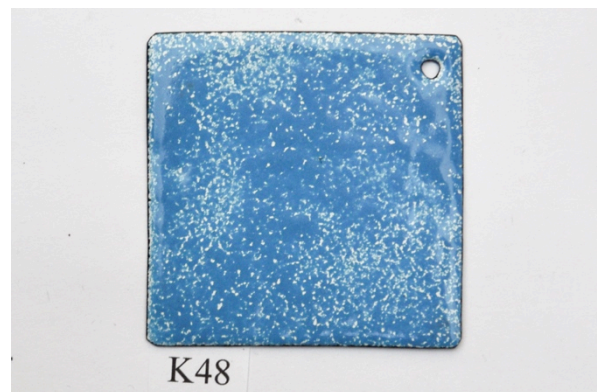
K46 Thompson grund GC-16, emalj strödd torrt & kallt, 2,14g emalj, **S 860°C, Bränd i 12min**, oxidfri yta, avfettad med lacknafta och rödsprit.

Testserie med WG Ball emalj applicerad torr

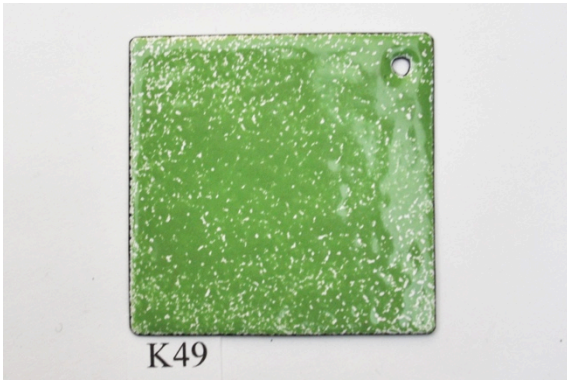
Alla prov är brända i en Naber emalj ugn styrd av en EMKO-4450 PID-styrning via ett Siemens Solid State relä och ett standard K-termoelement för temperatur. Det redovisade S värdet är PID-styrningens Set value, vilket är måltemperaturen. Termoelementet sitter i ugnen placerat ca 1cm från taket, in genom ugnens bakvägg. Total ugnshöjd är 10cm invändigt. Alla provbitar är placerade på en rostfri ståljigg med ca 2cm höga pigga som provbitarna vilar på under bränning. Provbitarna är då placerade ca mitt i ugnen. Provbitarna är vägda före påföring av emalj och före bränning av emaljen för att bestämma mängden emalj på vare prov. Viktmätningarna är gjorda med en Kern KB 650-2NM tidigare certifierad precisionsvåg. E=0,1g vilket är certifieringsprecisionen. D=0.01g vilket är mätnoggrannheten som visas på displayen. Torrsiktningen av emaljen är gjord med WG Balls emaljsiktat med maskvidd ca 13 trådar på 10mm. Kontrollmätningar av temperatur är gjorda med en Fluke t3000 FC termometer med standard K-termoelement. Stål typ K är kallvalsat stål EN 10130 DC01.



K47 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,77g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 2,05g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12545 Black**, emalj strödd torrt & kallt, 1,43g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



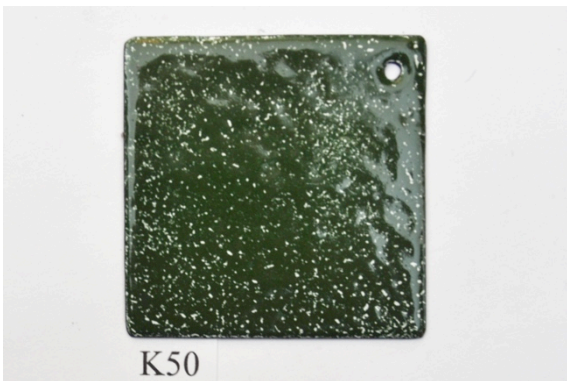
K48 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,79g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 2,03g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12547 Sky Blue**, emalj strödd torrt & kallt, 1,56g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



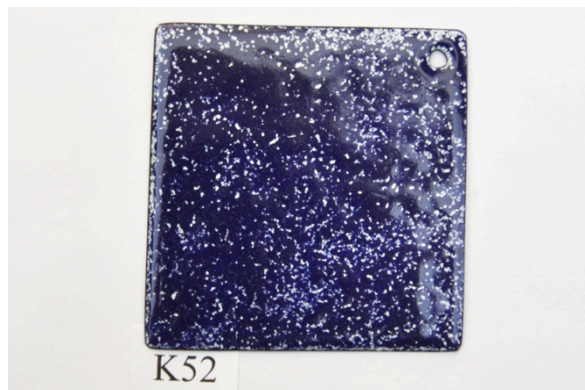
K49 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,67g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,70g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12548 Celadon Green**, emalj strödd torrt & kallt, 1,88g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K51 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,94g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,67g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12546 Yellow**, emalj strödd torrt & kallt, 2,18g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K50 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,83g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,58g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12554 Dark Green**, emalj strödd torrt & kallt, 1,78g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K52 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,96g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,98g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12555 Royal blue**, emalj strödd torrt & kallt, 1,76g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K53

K53 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2.06g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,75g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12557 Orange**, emalj strödd torrt & kallt, 1,71g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K55

K55 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,91g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 2,27g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12549 Deep Yellow**, emalj strödd torrt & kallt, 1,77g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



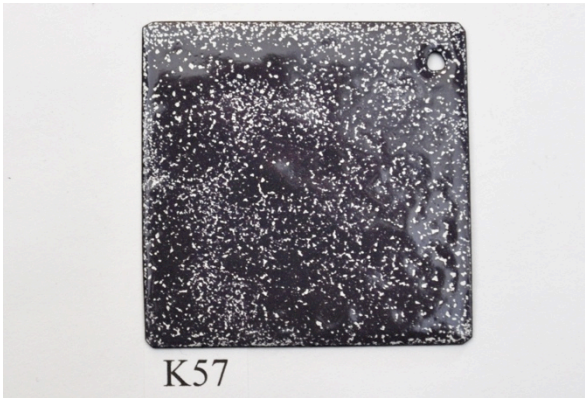
K54

K54 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,86g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,74g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12558 Red**, emalj strödd torrt & kallt, 1,85g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.

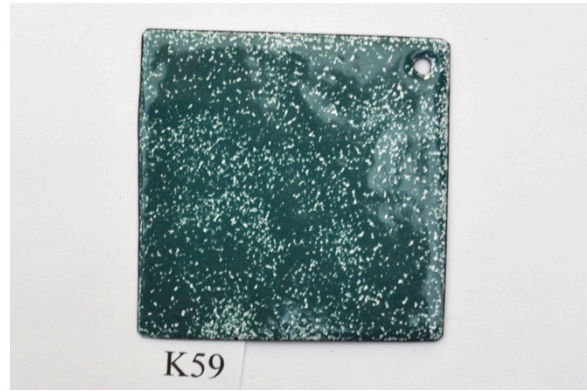


K56

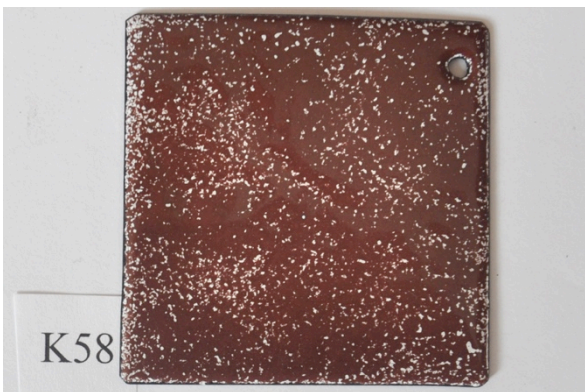
K56 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,94g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,56g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12551 Light Brown**, emalj strödd torrt & kallt, 1,60g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



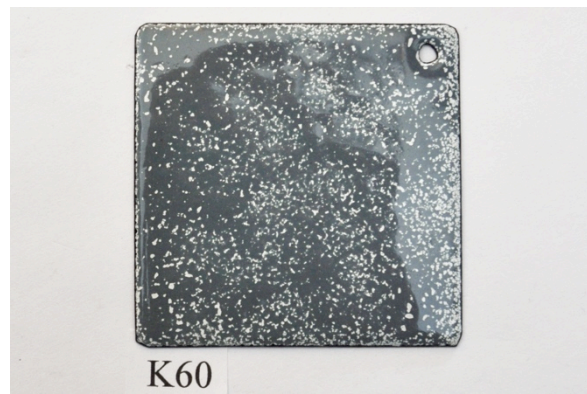
K57 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,92g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,68g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12556 Purple**, emalj strödd torrt & kallt, 1,59g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



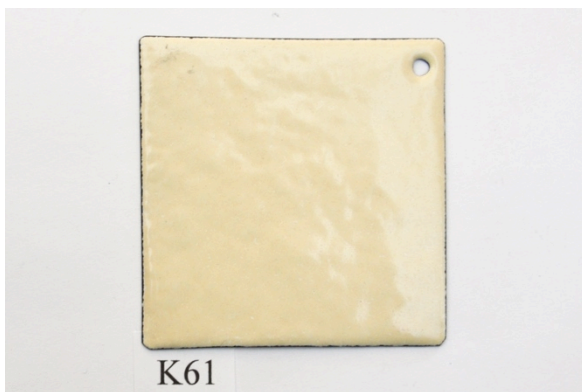
K59 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,27g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,91g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12553 Jade**, emalj strödd torrt & kallt, 1,63g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K58 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,99g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,64g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12552 Chestnut Brown**, emalj strödd torrt & kallt, 1,71g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K60 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,27g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,96g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12550 Grey**, emalj strödd torrt & kallt, 1,69g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K61

K61 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,09g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter WG Ball 12541 White, emalj strödd torrt & kallt, 1,93g emalj, S 840°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12544 Ivory**, emalj strödd torrt & kallt, 1,86g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K62

K62 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,89g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12541 White**, emalj strödd torrt & kallt, 1,67g emalj, S 840°C, Bränd i 4min.



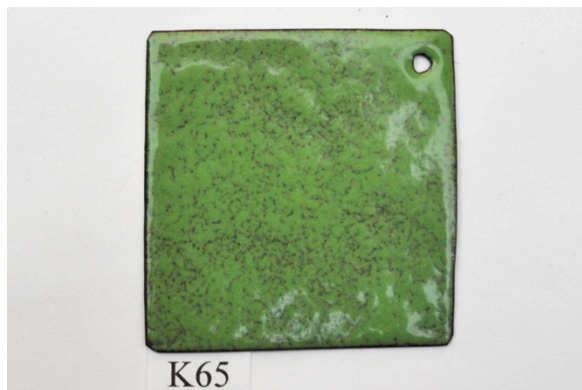
K63

K63 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,65g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12545 Black**, emalj strödd torrt & kallt, 1,87g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K64

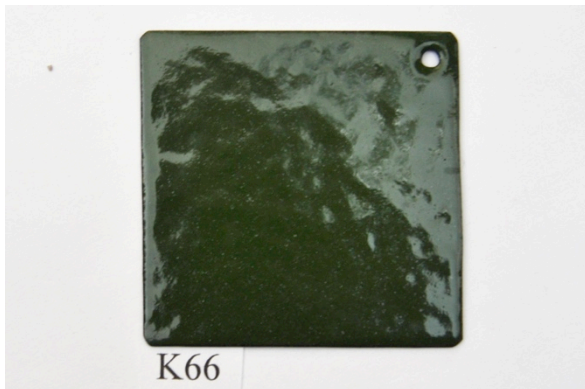
K64 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,08g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12547 Sky Blue**, emalj strödd torrt & kallt, 1,56g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



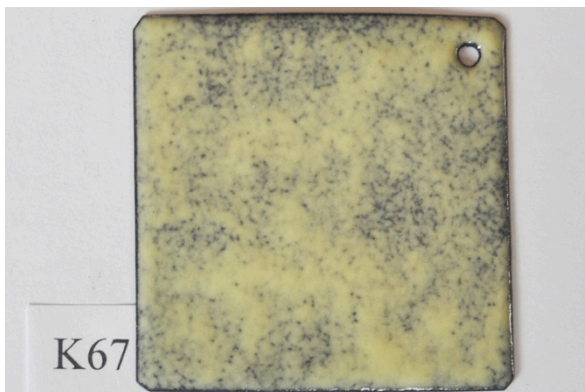
K65

K65 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,04g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.

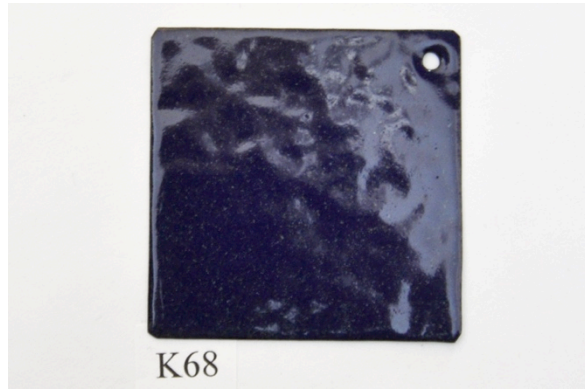
Därefter **WG Ball 12548 Celadon Green**,
emalj strödd torrt & kallt, 1,85g emalj, S
820°C, Bränd i 4min.



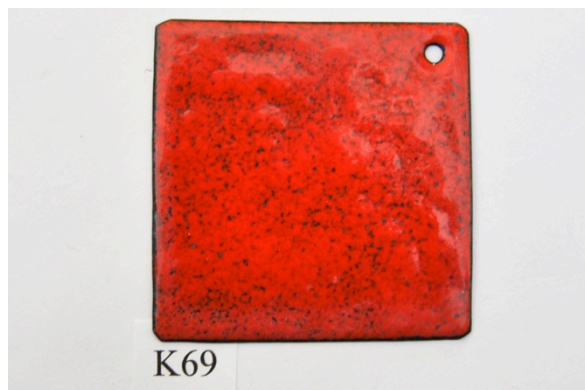
K66 WG Ball grund, emalj strödd torrt &
kallt, 2,07g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.
Därefter **WG Ball 12554 Dark Green**,
emalj strödd torrt & kallt, 1,81g emalj, S
820°C, Bränd i 4min.



K67 WG Ball grund, emalj strödd torrt &
kallt, 2,02g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.
Därefter **WG Ball 12546 Yellow**, emalj
strödd torrt & kallt, 2,08g emalj, S 820°C,
Bränd i 4min.



K68 WG Ball grund, emalj strödd torrt &
kallt, 1,91g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.
Därefter **WG Ball 12555 Royal Blue**,
emalj strödd torrt & kallt, 2,07g emalj, S
820°C, Bränd i 4min.



K69 WG Ball grund, emalj strödd torrt &
kallt, 2,22g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.
Därefter **WG Ball 12557 Orange**, emalj
strödd torrt & kallt, 2,20g emalj, S 820°C,
Bränd i 4min.



K70 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,20g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.
Därefter **WG Ball 12558 Red**, emalj strödd torrt & kallt, 1,76g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



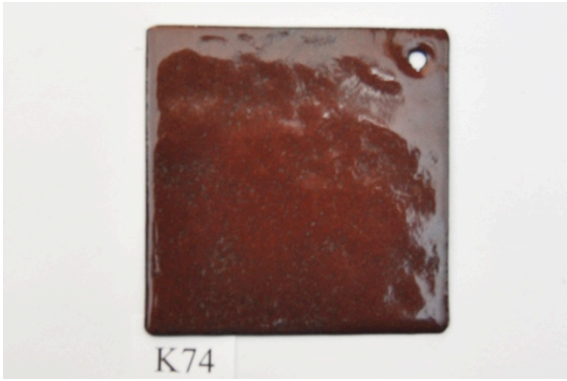
K72 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,35g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.
Därefter **WG Ball 12551 Light Brown**, emalj strödd torrt & kallt, 1,72g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



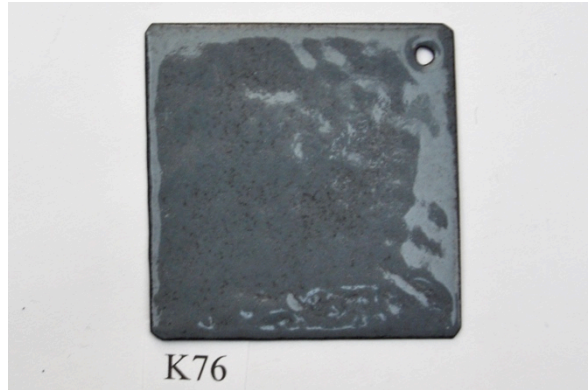
K71 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,90g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.
Därefter **WG Ball 12549 Deep Yellow**, emalj strödd torrt & kallt, 2,07g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K73 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,07g emalj, S 850°C, Bränd i 4min..
Därefter **WG Ball 12556 Purple**, emalj strödd torrt & kallt, 1,70g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K74 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,99g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12552 Chestnut Brown**, emalj strödd torrt & kallt, 1,83g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K76 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,99g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12550 Grey**, emalj strödd torrt & kallt, 1,98g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K75 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,04g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12553 Jade**, emalj strödd torrt & kallt, 1,90g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K77 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 2,95g emalj, S 850°C, Bränd i 4min. Därefter **WG Ball 12544 Ivory**, emalj strödd torrt & kallt, 2,07g emalj, S 820°C, Bränd i 4min.



K78 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,89g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.



K79 WG Ball grund, emalj strödd torrt & kallt, 1,96g emalj, S 850°C, Bränd i 4min.

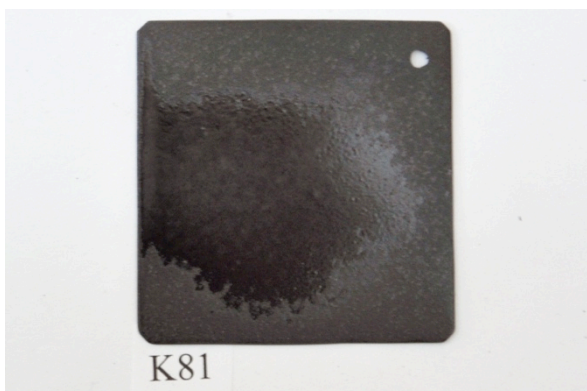
Test med våtsprutad emalj



K80 Första test med våt applicering med spruta. Sprutad med 0,8mm munstycke. Thompson grundemalj GC-16, S 850°C, Bränd i 4min

Testserie med tjocklek vid våtsprutning

Alla prov brända i samma Naber emaljugn som första testserien. Proven är vägda före påföring av emalj och efter att emaljen har torkat, innan bränning. Stål typ K är kallvalsat stål EN 10130 DC01.



K81 WG Ball grund, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 1 skikt, 0,3g emalj.**



K82 Skillinge emalj grund, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 1 skikt, 0,35g emalj.**



K85 Skillinge emalj grund, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 2 skikt, 0,68g emalj.**



K83 Thompson grund GC-16, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 1 skikt, 0,84g emalj.**



K86 Thompson grund GC-16, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 2 skikt, 0,90g emalj.**



K84 WG Ball grund, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 2 skikt, 0,59g emalj.**



K81 WG Ball grund, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 3 skikt, 1,22g emalj.**



K88 Skillinge emalj grund, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 3 skikt, 1,56g emalj.**



K89 Thompson grund GC-16, oxidfri yta avfettad med lacknafta och rödsprit, munstycke 0,8mm, S 820°C, Bränd i 4min, **Sprutad med 3 skikt, 1,25g emalj**

Testserie med Thompson våtsprutad grund och våtpenslad täckemalj

Samma testutrustning som tidigare är använd.



K90 Thompson grund GC-16, 1,26g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,40g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 772 Black**, 1,13g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



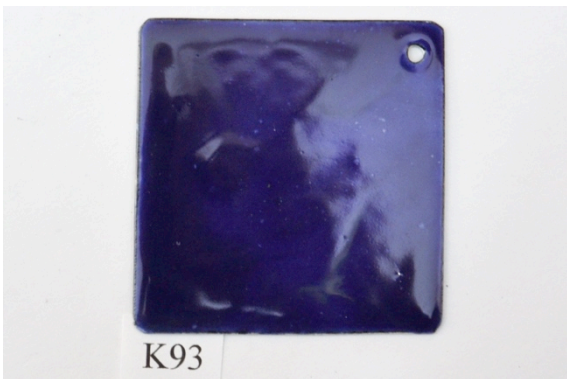
K91 Thompson grund GC-16, 1,24g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,42g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 937 Coral**, 1,65g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K92 Thompson grund GC-16, 1,39g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,20g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 940 Mouse, 1,50g emalj.
Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade
med värmeplatta. Alla lager är brända med
S 820°C, i 4min.



K94 Thompson grund GC-16, 1,23g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,29g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 929 Chartreuse, 2,26g emalj.
Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade
med värmeplatta. Alla lager är brända med
S 820°C, i 4min.



K93 Thompson grund GC-16, 1,26g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,23g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 790 Imperial Blue, 4,52g
emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat
torkade med värmeplatta. Alla lager är
brända med S 820°C, i 4min.



K95 Thompson grund GC-16, 1,67g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,43g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 930 Chinese Red, 0,82g emalj.
Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade
med värmeplatta. Alla lager är brända med
S 820°C, i 4min.



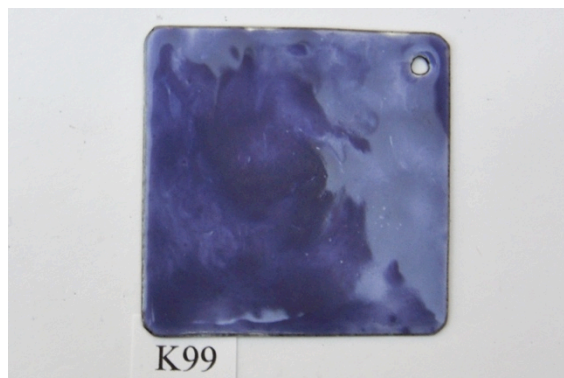
K96 Thompson grund GC-16, 1,51g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,08g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 774 Chocolate, 0,83g emalj.
Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade
med värmeplatta. Alla lager är brända med
S 820°C, i 4min.



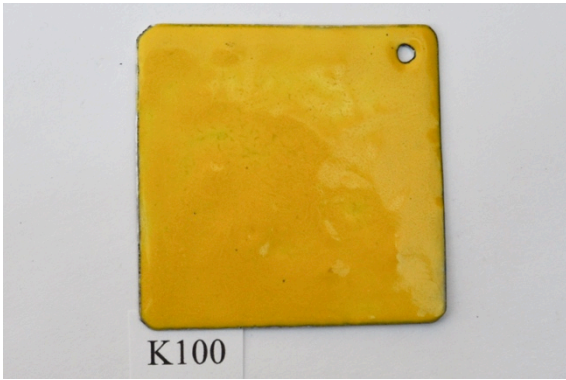
K98 Thompson grund GC-16, 1,57g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,29g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 800 Petal Pink, 1,99g emalj.
Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade
med värmeplatta. Alla lager är brända med
S 820°C, i 4min.



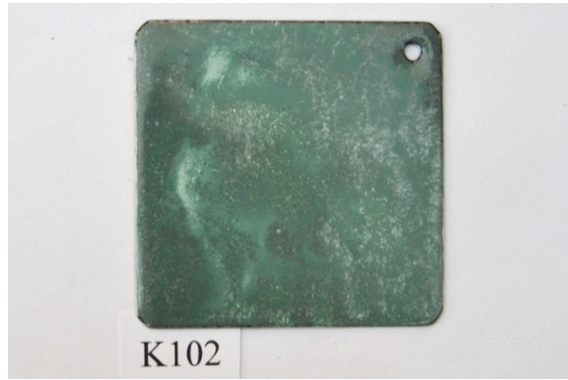
K97 Thompson grund GC-16, 1,51g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,38g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 788 Coca brown, 1,75g emalj.
Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade
med värmeplatta. Alla lager är brända med
S 820°C, i 4min.



K99 Thompson grund GC-16, 1,79g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter
Thompson 534 White, 1,32g emalj.
Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter
Thompson 801 Hyacinth Lavender, 1,34g
emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat
torkade med värmeplatta. Alla lager är
brända med S 820°C, i 4min.



K100 Thompson grund GC-16, 0,86g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,26g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 769 Goldenrod Yellow**, 1,07g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



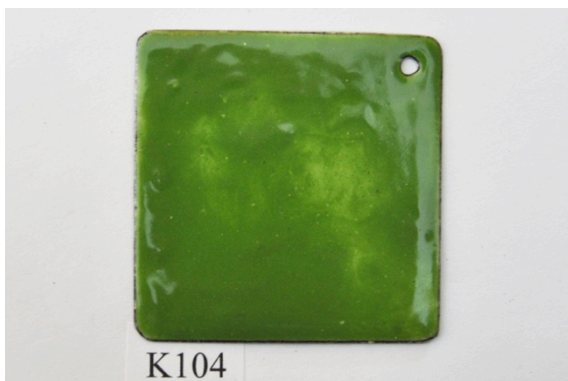
K102 Thompson grund GC-16, 0,99g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,23g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 935 Robin egg Blue**, 1,49g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K101 Thompson grund GC-16, 0,98g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,34g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 799 Sky Blue**, 2,31g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



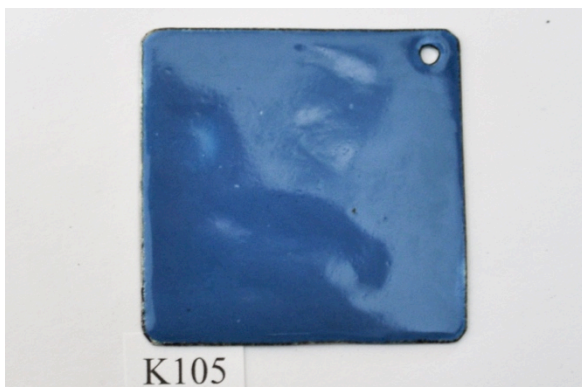
K103 Thompson grund GC-16, 1,09g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,14g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 936 Beige**, 2,31g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K104 Thompson grund GC-16, 1,15g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,21g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 791 Hunter Green**, 1,37g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K106 Thompson grund GC-16, 1,06g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,23g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 770 Princeton Orange**, 1,49g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



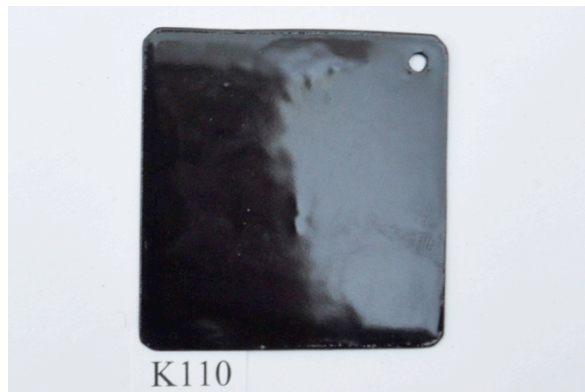
K105 Thompson grund GC-16, 1,03g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,55g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 767 Peacock Blue**, 1,87g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K107 Thompson grund GC-16, 1,17g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,24g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **Thompson 771 Flame Red**, 1,93g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K108 Thompson grund GC-16, 1,22g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter Thompson 534 White, 1,44g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K110 Thompson grund GC-16, 0,99g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 772 Black**, 0,87g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



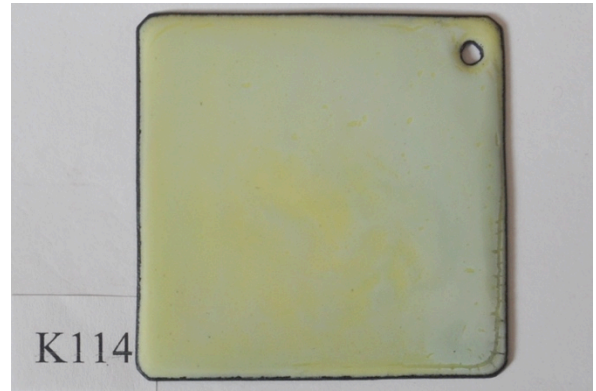
K109 Thompson grund GC-16, 1,39g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 533 White**, 1,49g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K111 Thompson grund GC-16, 1,06g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 937 Coral**, 1,87g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K112 Thompson grund GC-16, 1,12g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 940 Mouse**, 1,34g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K114 Thompson grund GC-16, 1,05g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 929 Chartreuse**, 3,83g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



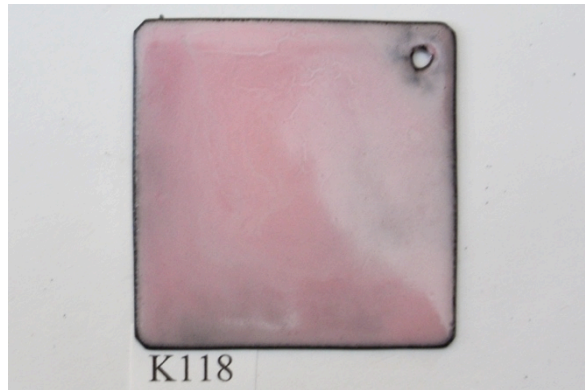
K113 Thompson grund GC-16, 1,11g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 790 Imperial Blue**, 2,58g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K115 Thompson grund GC-16, 1,21g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 930 Chinese Red**, 1,04g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K116 Thompson grund GC-16, 1,18g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 774 Chocolate**, 0,83g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K118 Thompson grund GC-16, 1,39g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 800 Petal Pink**, 2,19g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K117 Thompson grund GC-16, 1,27g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 788 Choca Brown**, 1,68g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K119 Thompson grund GC-16, 1,43g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 801 Hyacinth**, 1,91g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K120 Thompson grund GC-16, 1,07g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 769 Goldenrod Yellow**, 2,37g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



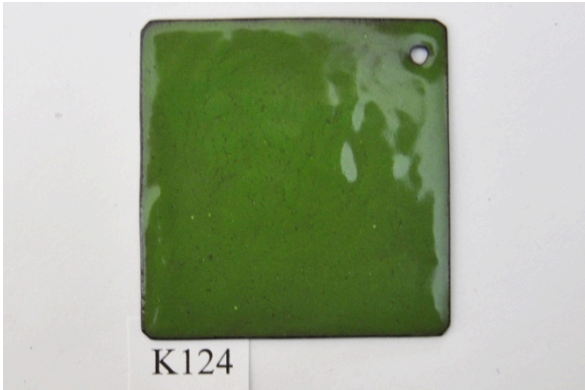
K122 Thompson grund GC-16, 1,13g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 935 Robin egg Blue**, 2,24g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K121 Thompson grund GC-16, 1,12g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 799 Sky Blue**, 2,52g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



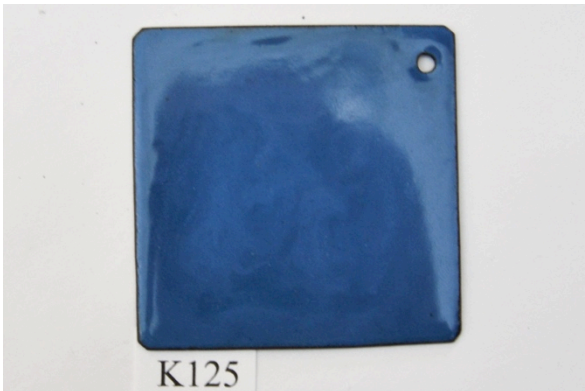
K123 Thompson grund GC-16, 1,18g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 936 Beige**, 2,75g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



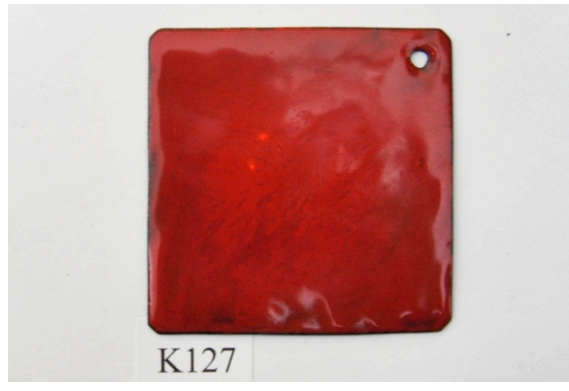
K124 Thompson grund GC-16, 1,24g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 791 Hunter Green**, 1,72g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K126 Thompson grund GC-16, 1,67g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 770 Princeton Orange**, 2,24g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K125 Thompson grund GC-16, ? g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 767 Peacock Blue**, 2,02g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K127 Thompson grund GC-16, 1,61g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **Thompson 771 Flame Red**, 1,35g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K128 Thompson grund GC-16, 1,58g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K129 Thompson grund GC-16, 1,55g emalj. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.

Testserie med WG Ball våtapplicerad

Samma bränn- och testutrustning som tidigare är använd.



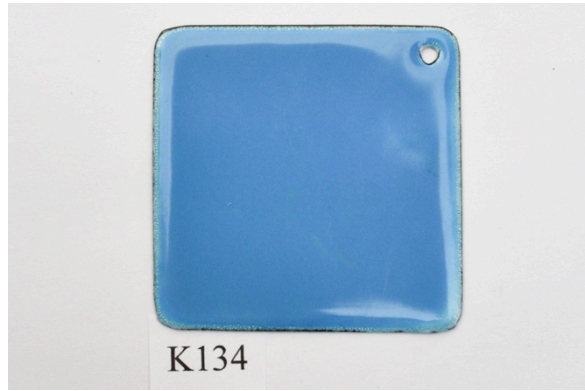
K130 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter WG Ball 12541 White. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12546 Yellow**, 3,15g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K131 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter WG Ball 12541 White. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12557 Orange**, 1,42g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K132 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter WG Ball 12541 White. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12548 Celadon Green**, 2,59g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K134 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter WG Ball 12541 White. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12547 Sky Blue**, 2,30g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K133 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter WG Ball 12541 White. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12554 Dark Green**, 2,17g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K135 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter WG Ball 12541 White. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12545 Black**, 1,72g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K136 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter WG Ball 12541 White. Våtsprutad med 0,8 munstycke Därefter **WG Ball 12555 Royal Blue**, 2,46g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K138 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



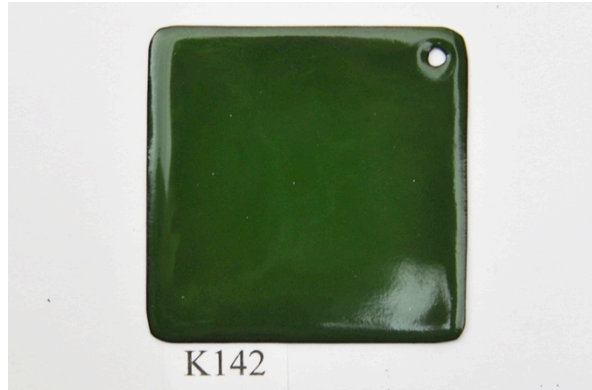
K137 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12541 White**. Våtsprutad med 0,8 munstycke. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K139 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12555 Royal Blue**, 2,26g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K140 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12545 Black**, 1,40g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K142 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,46g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K141 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12547 Sky Blue**, 2,32g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.



K143 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12548 Celadon Green**, 3,77g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min. Skadan i det gröna skiktet där grundemaljen syns skedde under hantering. Skrapade av emaljen när den var torr men inte bränd.



K144

K144 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12557 Orange**, 1,91g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.

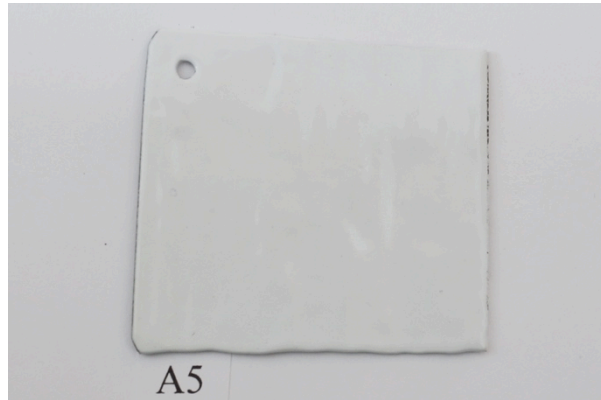
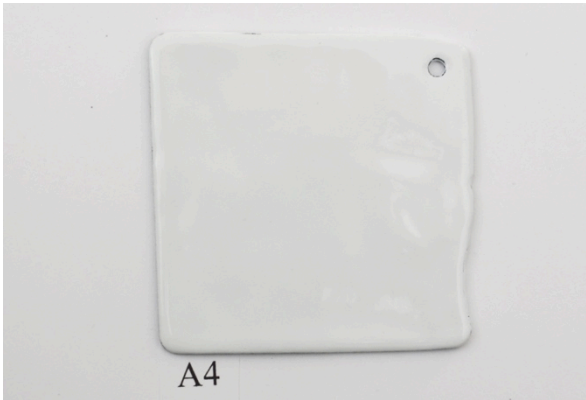


K145

K145 WG Ball grund, våtsprutad med 0,8 munstycke. Därefter **WG Ball 12546 Yellow**, 3,42g emalj. Våtpenslad. Alla lager är forcerat torkade med värmeplatta. Alla lager är brända med S 820°C, i 4min.

Vidhäftnings testserie med nio ståltyper

Alla provbitar är här listade i alfabetisk och numerisk ordning. En bild med provet före knäckning och en bild med knäckt prov. Provbitarna är vägda före påföring av emalj och efter att emaljen har torkat för att bestämma mängden emalj på vare prov. Vikt mätningarna är gjorda med en Kern KB 650-2NM tidigare certifierad precisionsvåg. E=0,1g vilket är certifieringsprecisionen. D=0.01g vilket är mätnoggrannheten som visas på displayen. Bränningarna av emaljproven är antingen gjorda i en Naber emaljugn styrd av en EMKO-4450 PID-styrning via ett Siemens Solid State relä och ett standard K-termoelement för temperatur. Det redovisade S värdet är PID-styrningens Set value, vilket är mål temperaturen. Termoelementet sitter i ugnen placerat ca 1cm från taket, in genom ugnens bakvägg. Total ugnshöjd är 10cm invändigt. Alla provbitar är placerade på en rostfri ståljigg med ca 2cm höga pigga som provbitarna vilar på under bränning. Provbitarna är då placerade ca mitt i ugnen. De bitar som inte är brända i Naber ugnen är brända i en P302 Angele Maschinenbau propanässja/propanugn, med dubbla högtrycksbrännare. Vid emaljering var trycket ca 0,5 Bar. Torrsiktningen av emaljen är gjord med en tesil med maskvidd ca 16 trådar på 10mm. Kontrollmätningar av temperatur är gjorda med en Fluke t3000 FC termometer med standard K-termoelement.



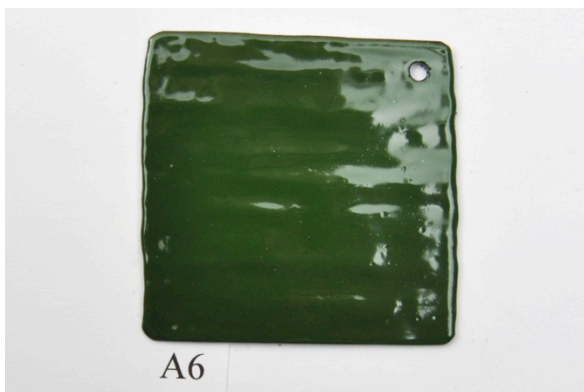
A4 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 63x63mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 2,34g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,45g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

A5 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 61x55mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,59g. Våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerad torkning med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



A4 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 43° radie ca 10mm.

A5 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 38° radie ca 15mm.



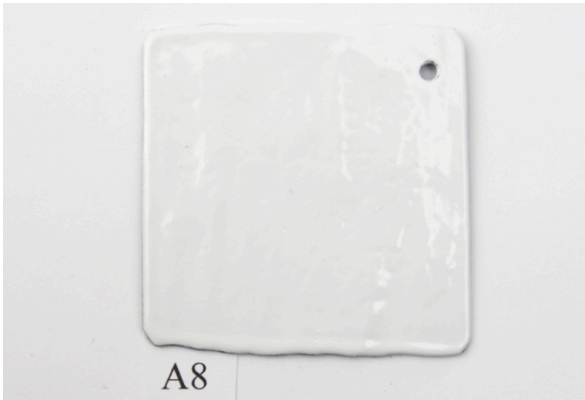
A6 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 57x59mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,65g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.

A7 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 56x59mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 1,63g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,51g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



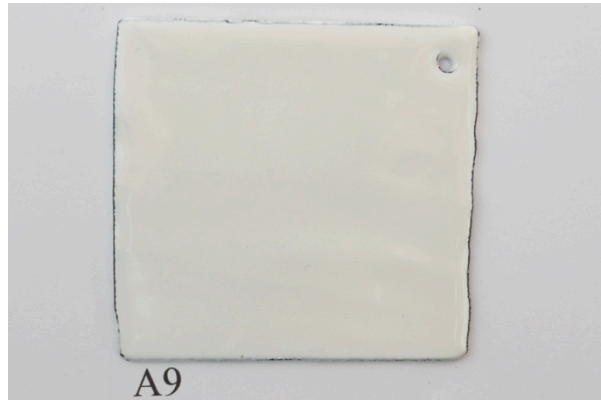
A6 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 33° radie ca 15mm.

A7 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 38° radie ca 15mm.



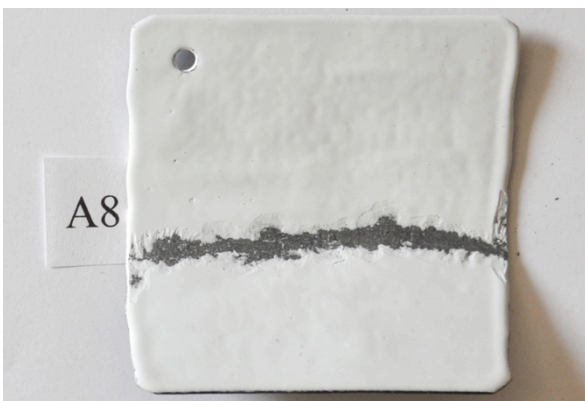
A8

A8 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x60mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 2,04g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



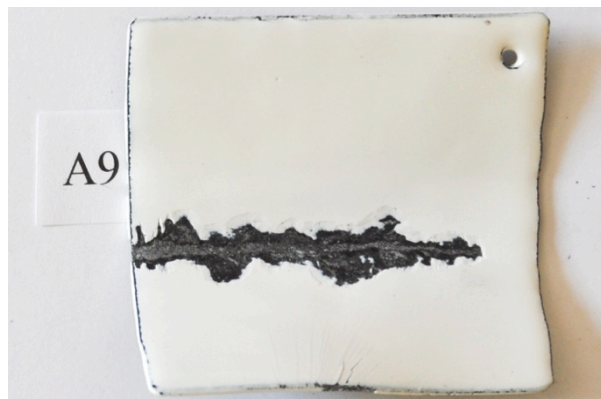
A9

A9 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x61mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,23g, därefter **Thompson 533 White**, 1,51g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



A8

A8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 38° radie ca 15mm.



A9

A9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 54° radie ca 10mm.



A10

A10 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x60mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,50g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



A11

A11 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x60mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 1,58g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



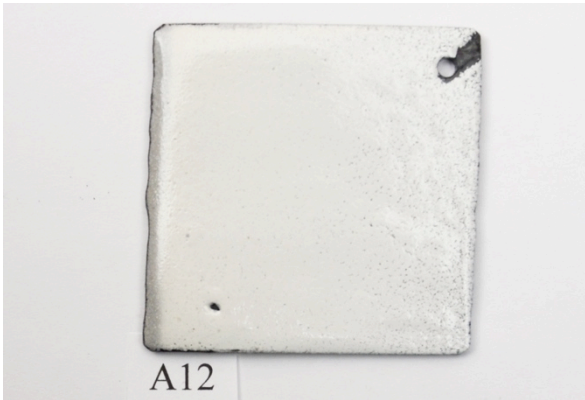
A10

A10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 53° radie ca 20mm.

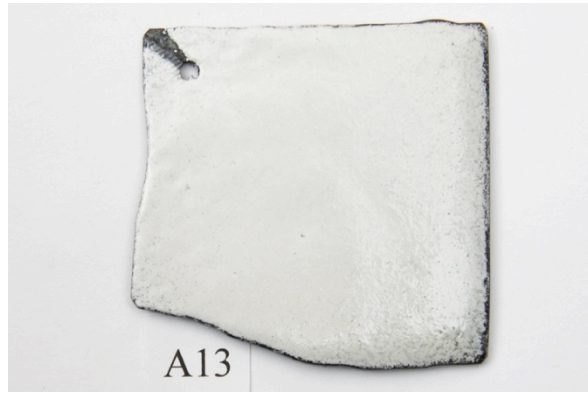


A11

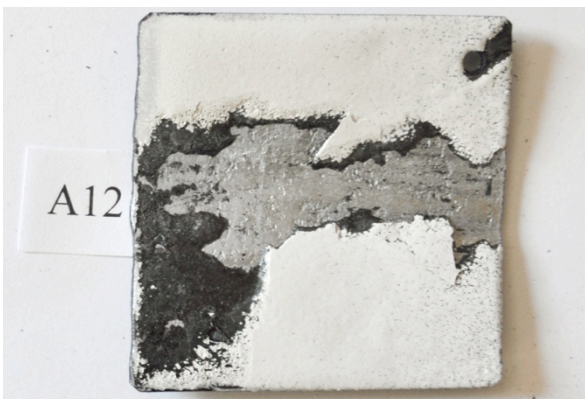
A11 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 15° radie ca 15mm.



A12 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, yta med glödska. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



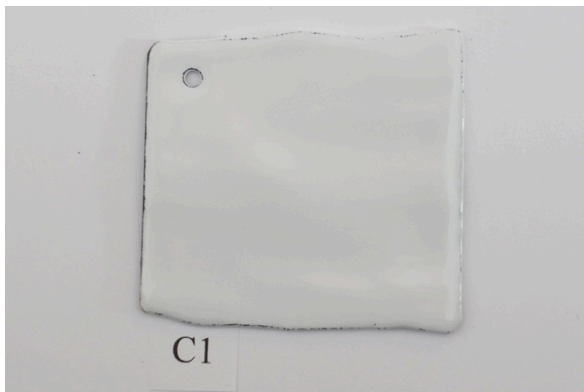
A13 Armco stål, Smidd från fyrkantstång, Smidd från rundstång, yta med glödska. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



A12 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4-5**. Böjd 18° radie ca 40mm.



A13 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 12° radie ca 30mm.



C1

C1 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x55mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 1,73g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,40g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



C2

C2 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x57mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,67g. Våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerad torkning med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



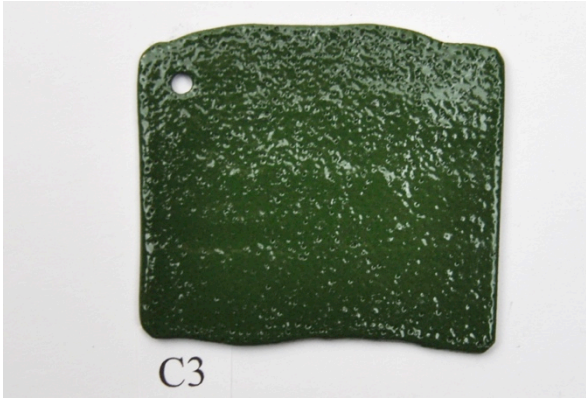
C1

C1 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 24° radie ca 10mm.



C2

C2 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 18° radie ca 15mm.



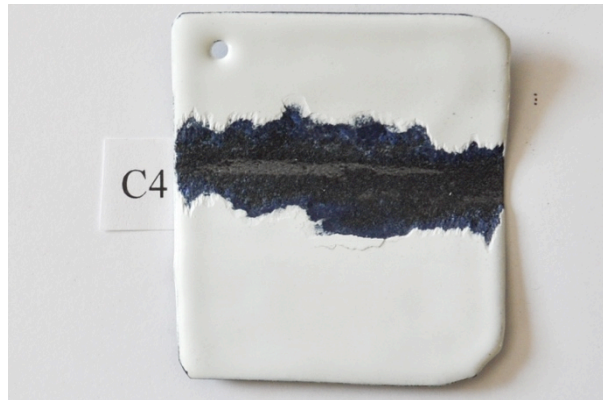
C3 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x52mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,43g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



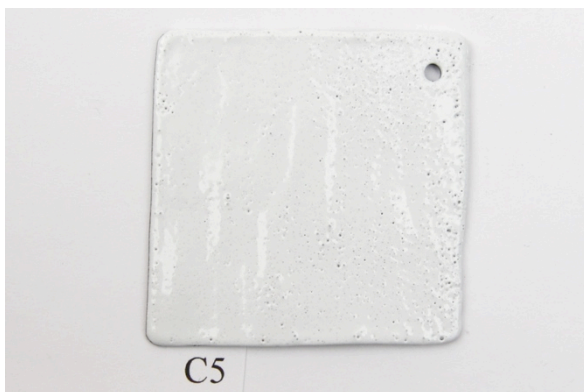
C3 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 29° radie ca 15mm.



C4 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 57x63mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 2,74g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,45g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



C4 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 20° radie ca 15mm.



C5

C5 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x60mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,82g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



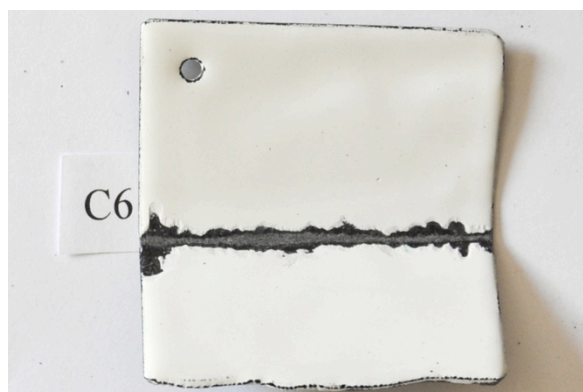
C6

C6 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x61mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,34g, därefter **Thompson 533 White**, 1,47g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



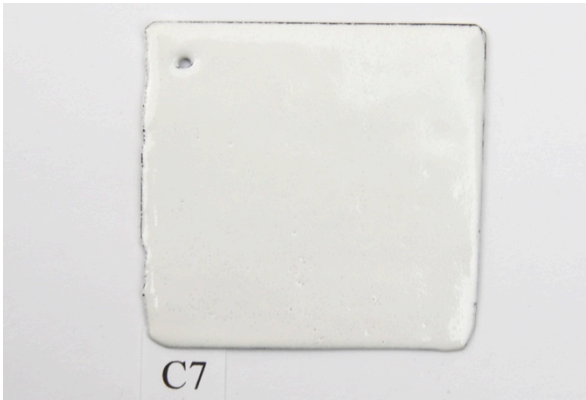
C5

C5 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3-4**. Böjd 15° radie ca 30mm.



C6

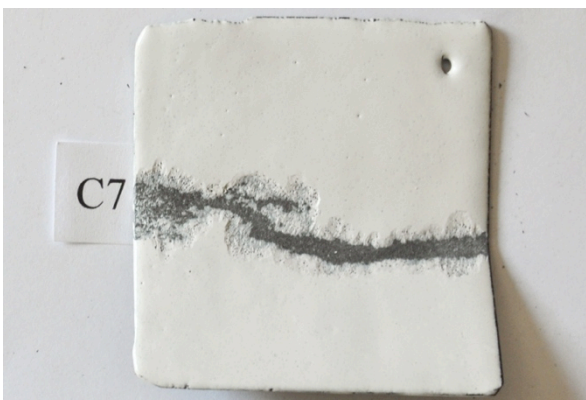
C6 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 38° radie ca 8mm.



C7 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x61mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,56g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



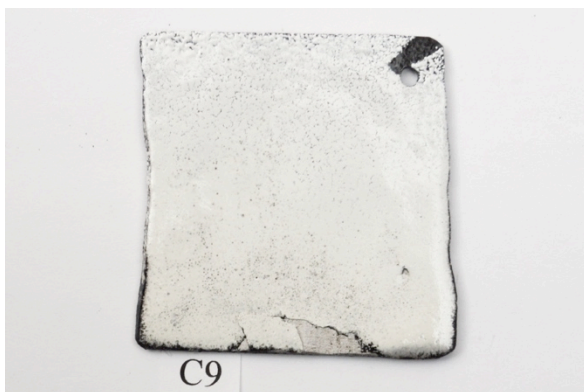
C8 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x60mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 2,04g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



C7 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 24° radie ca 30mm.



C8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 16° radie ca 15mm.



C9

C9 Armerings stål, Smidd från kamrundstång, yta med glödskal. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



C10

C10 Armerings stål, Smidd från kamrundstång. Smidd från rundstång, yta med glödskal. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



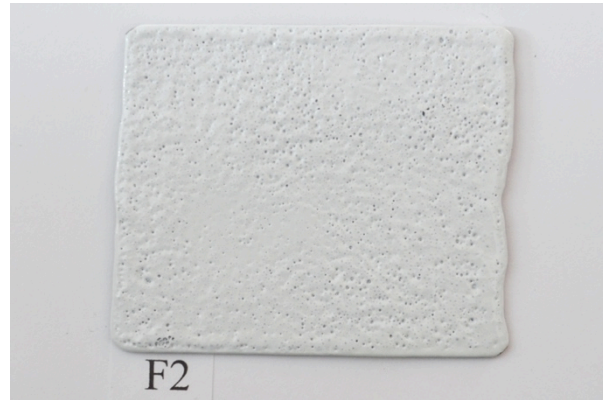
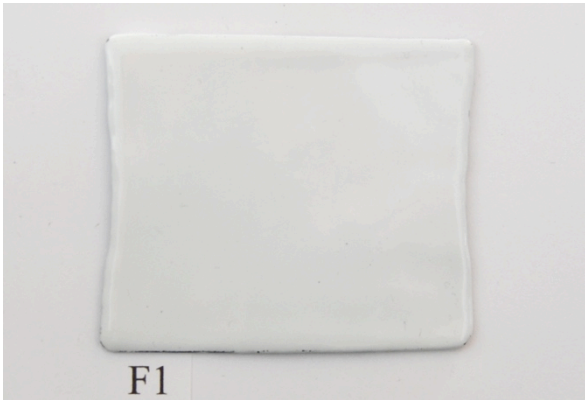
C9

C9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5-4**. Böjd 13° radie ca 30mm.



C10

C10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 18° radie ca 25mm.



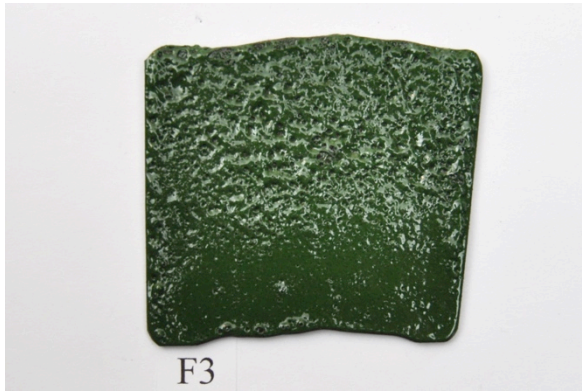
F1 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 53x60mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 2,17g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,29g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

F2 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 62x52mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**. Våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerad torkning med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

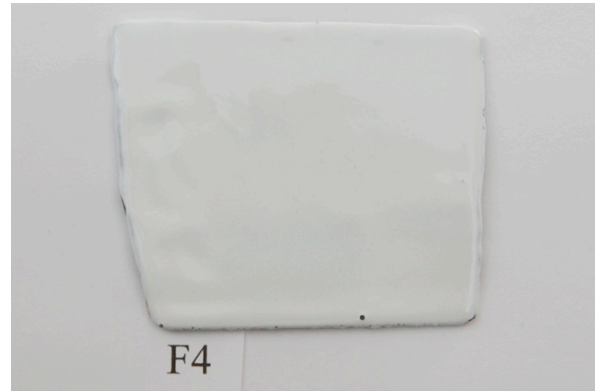


F1 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 21° radie ca 15mm.

F2 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 12° radie ca 50mm.



F3 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x55mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



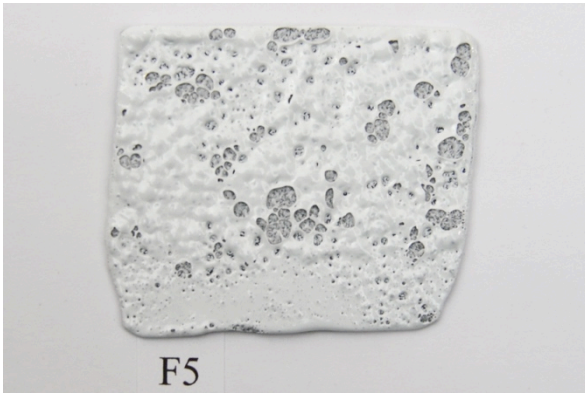
F4 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x50mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 1,78g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,26g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



F3 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 9° radie ca 100mm.



F4 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 18° radie ca 15mm.



F5

F5 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 53x62mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,88g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



F6

F6 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x58mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,14g, därefter **Thompson 533 White**, 1,47g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



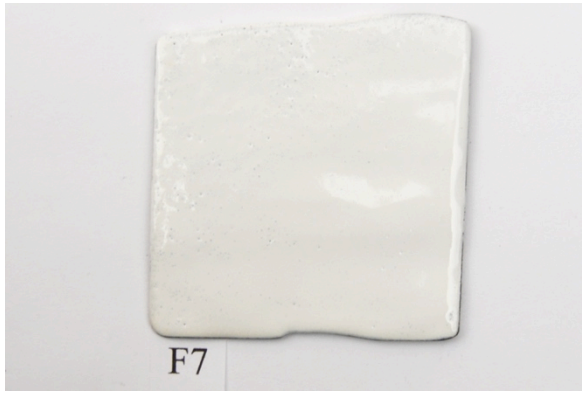
F5

F5 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 16° radie ca 35mm.

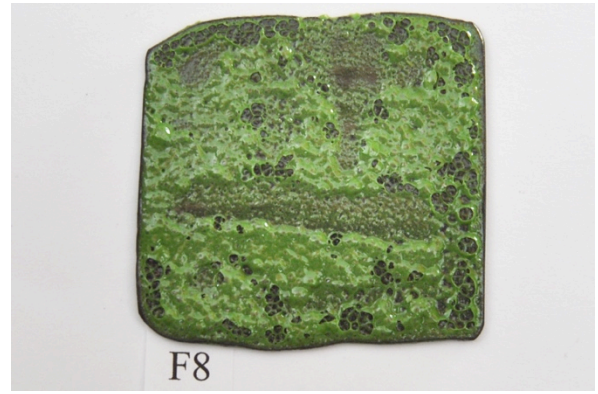


F6

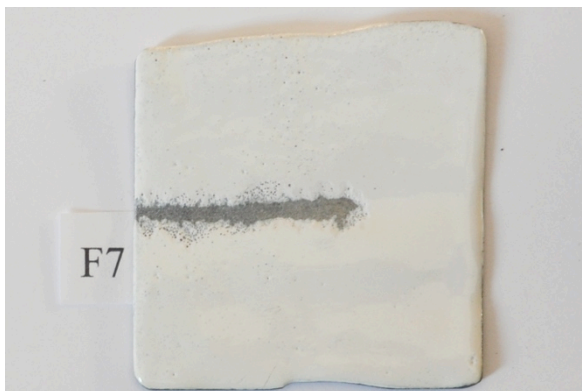
F6 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 26° radie ca 15mm.



F7 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x57mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,62g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



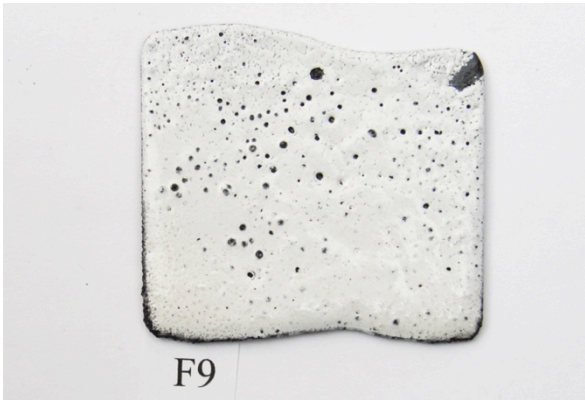
F8 Fjäderstål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x58mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 1,25g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



F7 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 5° radie ca 50mm.

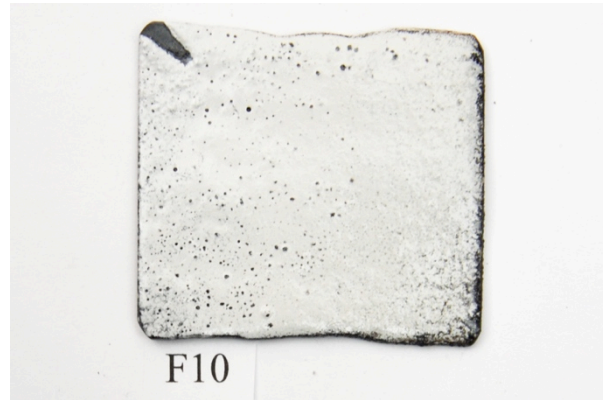


F8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 10° radie ca 60mm.



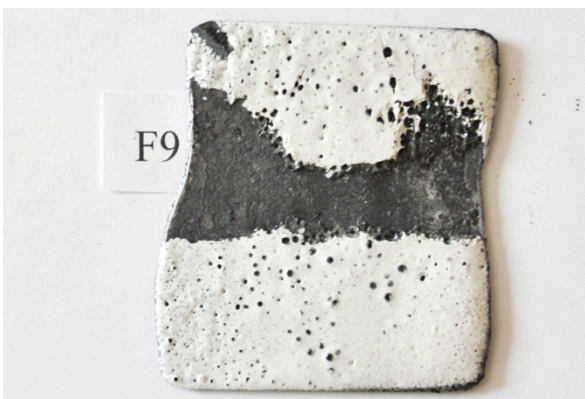
F9

F9 Fjäderstål, Smidd från rundstång, yta med glödska. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



F10

F10 Fjäderstål, Smidd från rundstång, yta med glödska. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stål biten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



F9

F9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 8° radie ca 100mm.



F10

F10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4-5**. Böjd 10° radie ca 100mm.



GS6

GS6 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x55mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 1,82g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,23g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



GS6 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 26° radie ca 10mm.

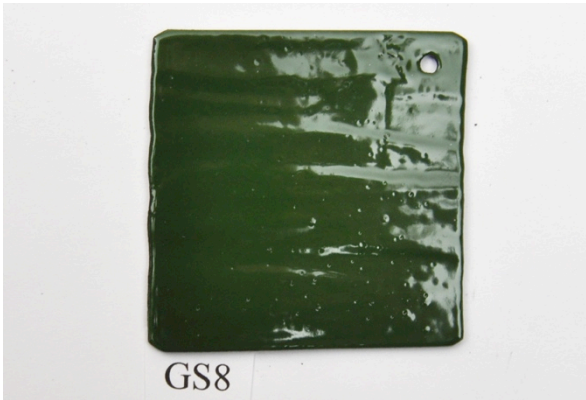


GS7

GS7 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x57mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,76g. Våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerad torkning med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

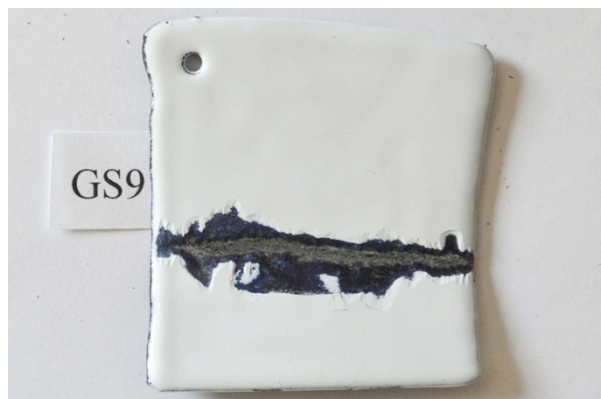


GS7 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 32° radie ca 30mm.



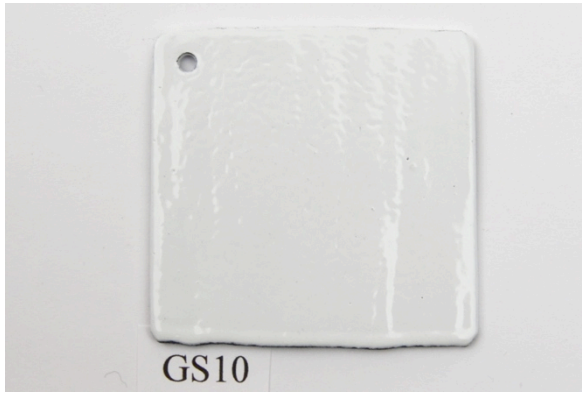
GS8 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x58mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,63g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.

GS9 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 55x60mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 2,46g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,48g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

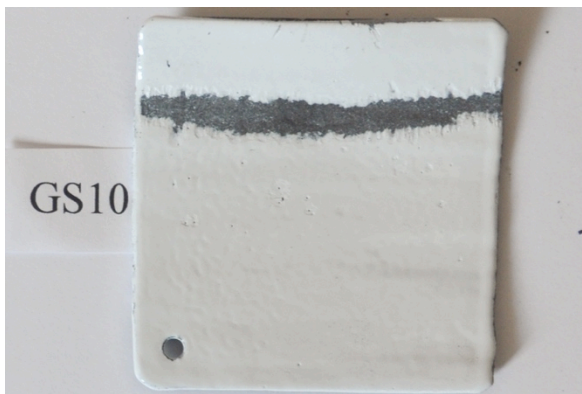


GS8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 32° radie ca 30mm.

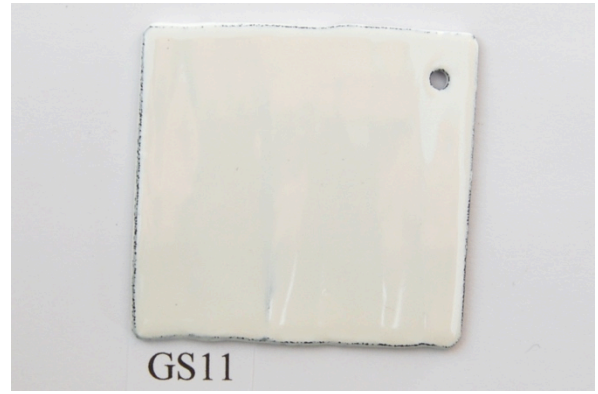
GS9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 15° radie ca 60mm.



GS10 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x59mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,78g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



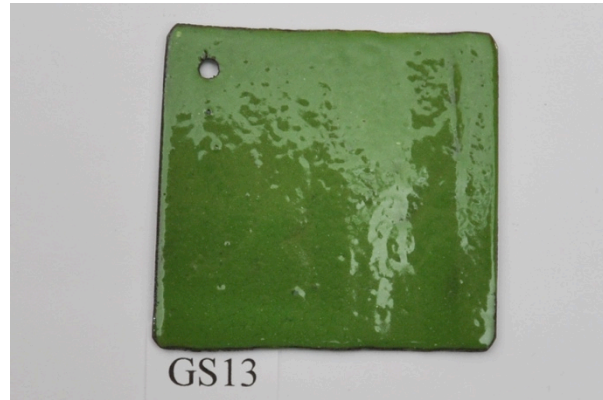
GS10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 28° radie ca 40mm.



GS11 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 57x59mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,22g, därefter **Thompson 533 White**, 1,43g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

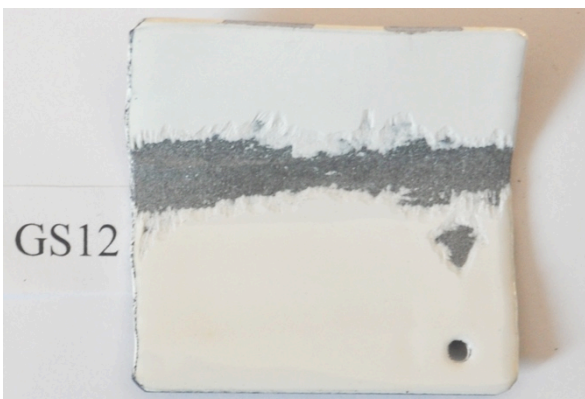


GS11 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 21° radie ca 25mm.



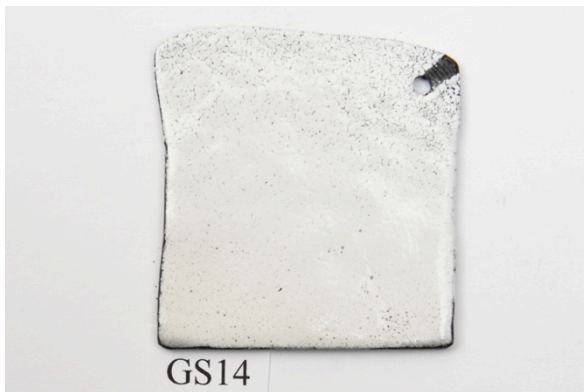
GS12 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x58mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,69g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

GS13 Gammalt stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x55mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 2,00g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



GS12 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 46° radie ca 15mm.

GS13 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 22° radie ca 30mm.



GS14 Gammalt stål, Smidd från rundstång, yta med glödska. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



GS14 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 13° radie ca 30mm.



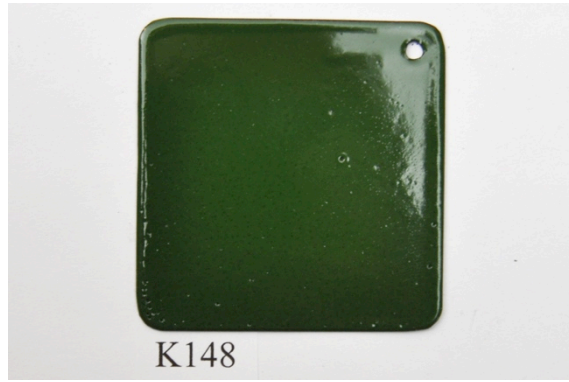
K146 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 2,49g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,43g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



K146 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 1. Böjd 39° radie ca 15mm.



K147 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,66g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



K148 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,71g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



K147 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 15° radie ca 100mm.



K148 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 30° radie ca 30mm.



K149

K149 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 2,57g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,36g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



K149

K149 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **1**. Böjd 80° radie ca 8mm.



K150

K150 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,77g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



K150

K150 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 32° radie ca 30mm.



K151 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,16g, därefter **Thompson 533 White**, 1,34g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

K151 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,26g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



K151 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **1-4**. Böjd 87° radie ca 10mm.

K152 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 100mm.



K153 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x60mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 1,25g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



K154 Kallvalsat stål, Klippt från plåt. 60x60mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 900°C.



K153 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 20° radie ca 15mm.

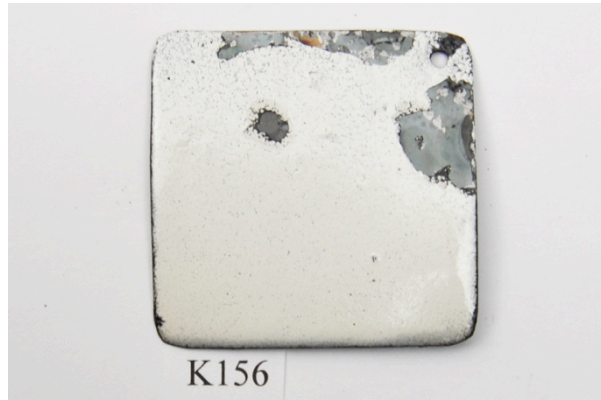


K154 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 16° radie ca 10mm.



K155

K155 Kallvalsat stål, Klippt från plåt. 60x60mm. Emaljerad med Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stål biten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 900°C.



K156

K156 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, yta med glödskal. Emaljerad med Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



K155

K155 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 3. Böjd 8° radie ca 15mm.



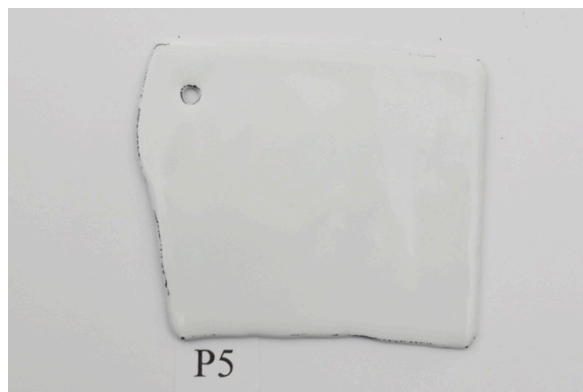
K156

K156 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 5. Böjd 0° radie ca ?mm.



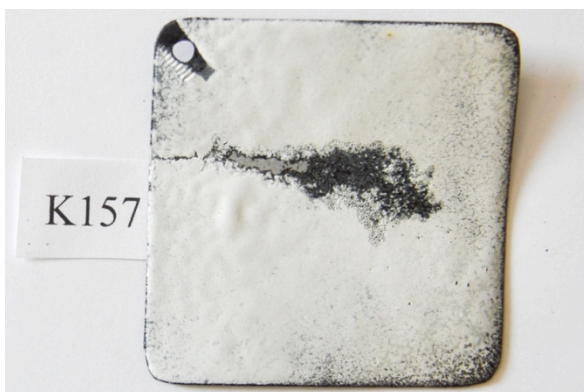
K157

K157 Kallvalsat stål, Klippt från plåt, yta med glödska. Emaljerad med **WG Ball grundemalj** och **WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



P5

P5 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 51x58mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 1,82g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,13g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



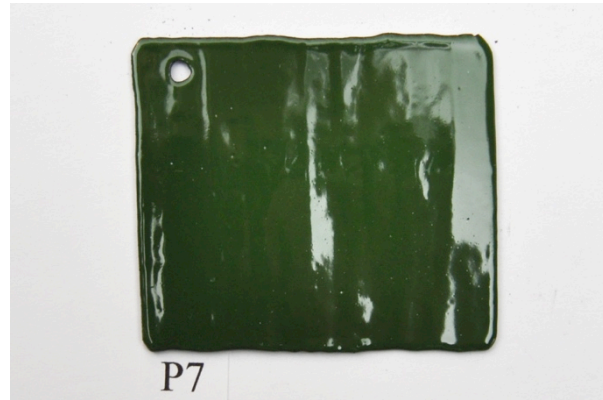
K157

K157 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 18° radie ca 10mm.



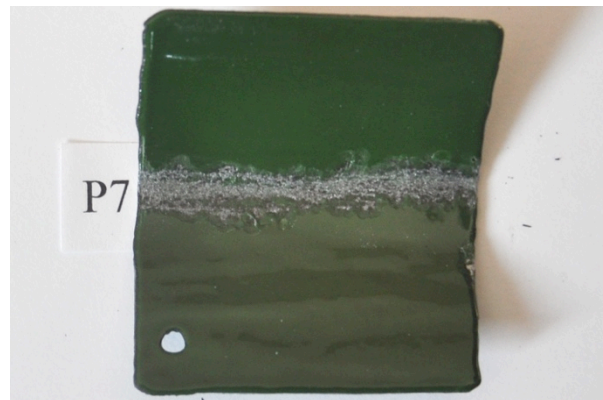
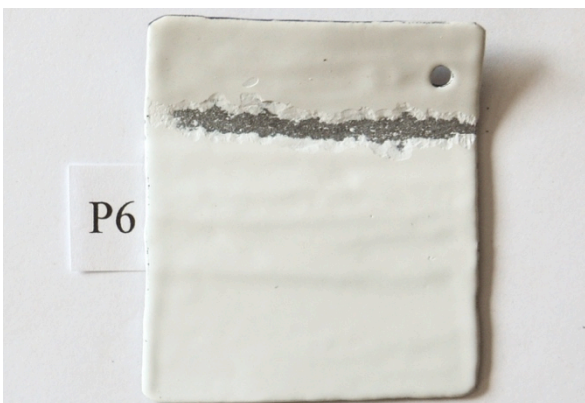
P5

P5 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 30° radie ca 15mm.



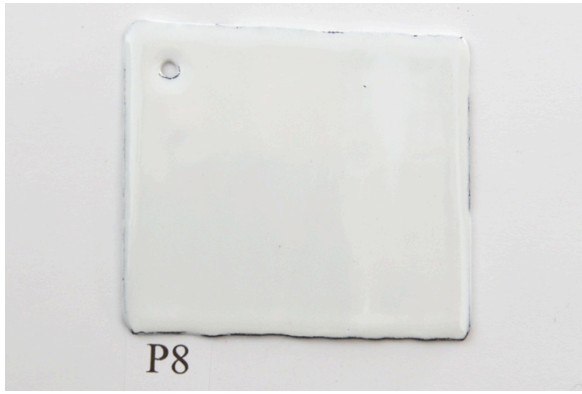
P6 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x52mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,57g. Våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerad torkning med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

P7 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x52mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,46g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



P6 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 21° radie ca 15mm.

P7 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 49° radie ca 10mm.



P8

P8 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x52mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 1,59g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,34g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



P8

P8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **1**. Böjd 38° radie ca 25mm.



P9

P9 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x50mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,64g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



P9

P9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 20° radie ca 30mm.



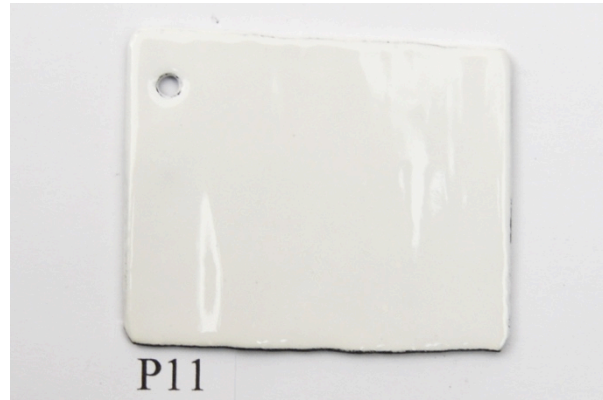
P10

P10 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x48mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,12g, därefter **Thompson 533 White**, 1,14g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



P10

P10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 55° radie ca 15mm.



P11

P11 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 48x59mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,02g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



P11

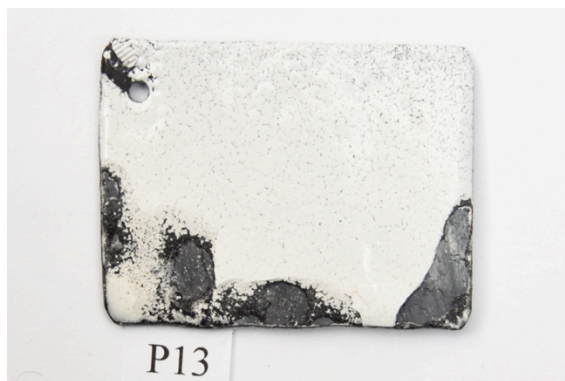
P11 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3-4**. Böjd 52° radie ca 20mm.



P12 purusFE stål, Smidd från rundstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 48x60mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 1,80g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



P12 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 28° radie ca 15mm.



P13 purusFE stål, Smidd från rundstång, yta med glödska. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneledad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



P13 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 30mm.



P14

P14 purusFE stål, Smidd från rundstång, yta med glödska. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneledad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



S3

S3 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 60x50mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 1,76g, därefter **WG Ball 12541 White**, 0,99g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



P14

P14 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 20mm.



S3

S3 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **1**. Böjd 43° radie ca 30mm.



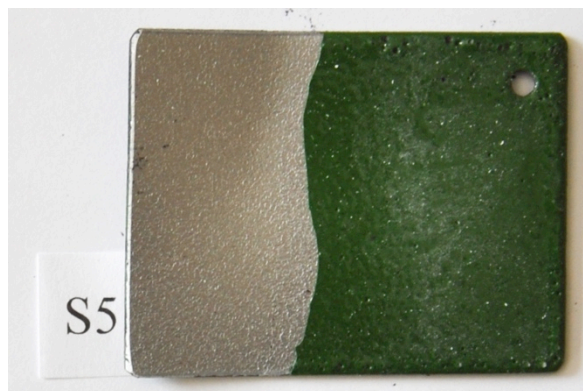
S4 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 50x60mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,31g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



S5 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 50x60mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,29g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



S4 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 39° radie ca 30mm.



S5 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 15° radie ca 20mm.



S6 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 59x45mm. **Thompson grundemalj GC-16**, g, därefter **Thompson 533 White**, g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



S7 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 59x45mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,51g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



S6 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd ° radie ca mm.

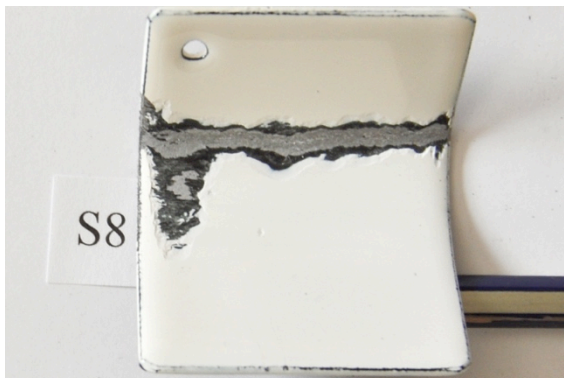


S7 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 30mm.



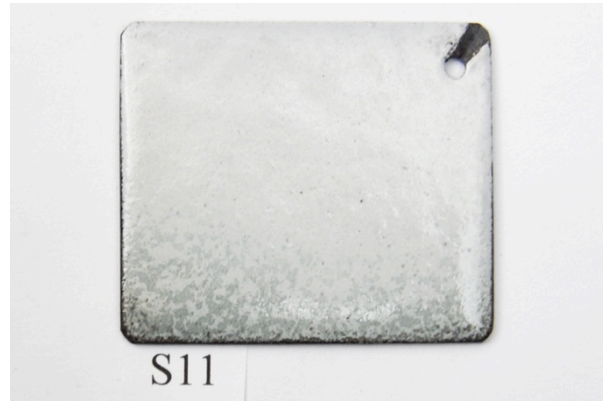
S8 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 59x45mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,15g, därefter **Thompson 533 White**, 1,07g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

S9 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödsprit. 59x45mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,12g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



S8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **1-4**. Böjd 84° radie ca 8mm.

S9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 100mm.



S10 Skillinge stål, Klippt från plåt, Hela ytan **oxidfri** avfettad med lacknafta och rödspit. 50x60mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 1,94g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

S11 Skillinge stål, Klippt från plåt. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 900°C.



S10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 16° radie ca 35mm.

S11 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 12° radie ca 15mm.



S12 Skillinge stål, Klippt från plåt.
Emaljerad med **WG Ball 12541 White**.
Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 900°C.



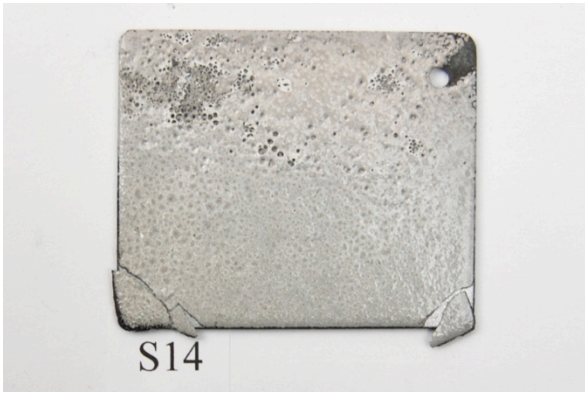
S13 Skillinge stål, Klippt från plåt.
Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**.
Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 900°C.



S12 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 30mm.

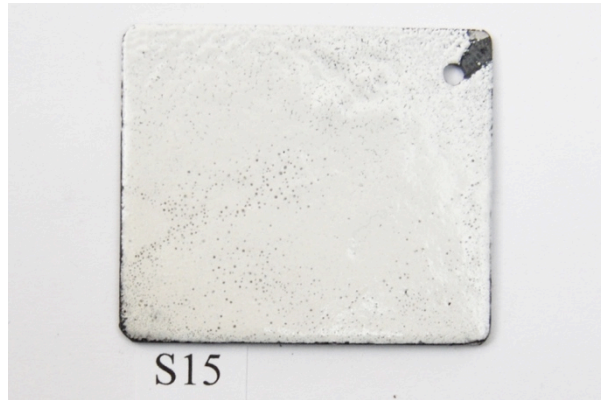


S13 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 16° radie ca 30mm.



S14

S14 Skillinge stål, Klippt från plåt.
Emaljerad med **Thompson 534 White**.
Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneledad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 900°C.



S15

S15 Skillinge stål, Klippt från plåt, yta med glödska. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneledad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 900°C.



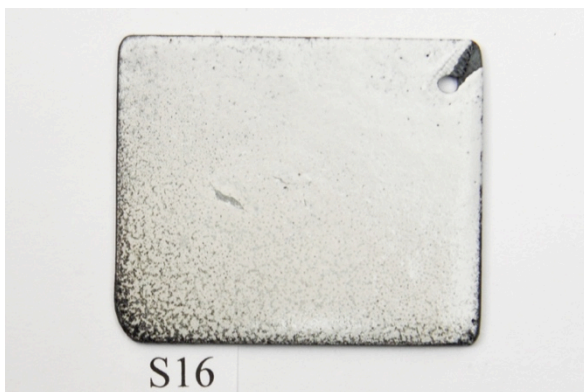
S14

S14 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 12° radie ca 30mm.



S15

S15 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 30mm.



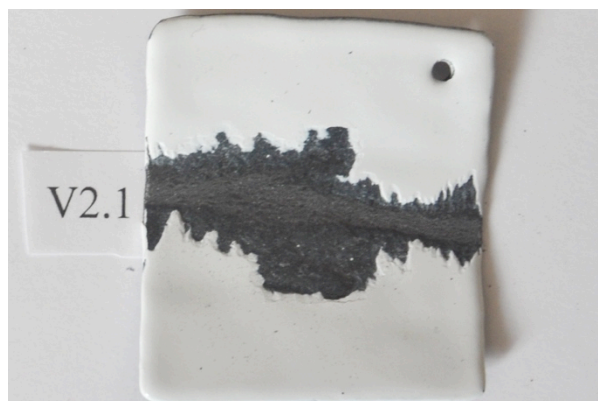
S16 Skillinge stål, Klippt från plåt, yta med glödska. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



S16 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **5**. Böjd 18° radie ca 30mm.



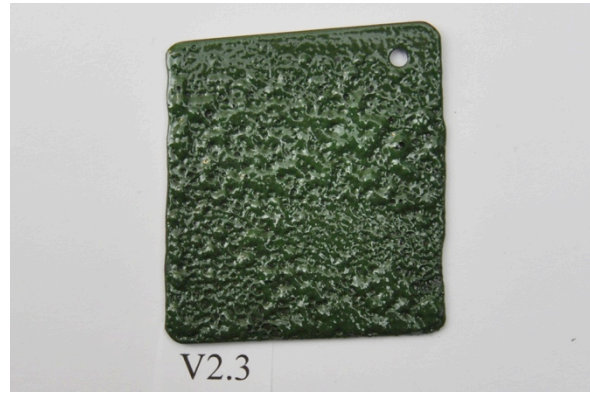
V2.1 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 54x60mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 1,92g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,22g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V2.1 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 20° radie ca 30mm.



V2.2 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x53mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,22g. Våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerad torkning med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V2.3 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x52mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,41g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



V2.2 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 19° radie ca 30mm.



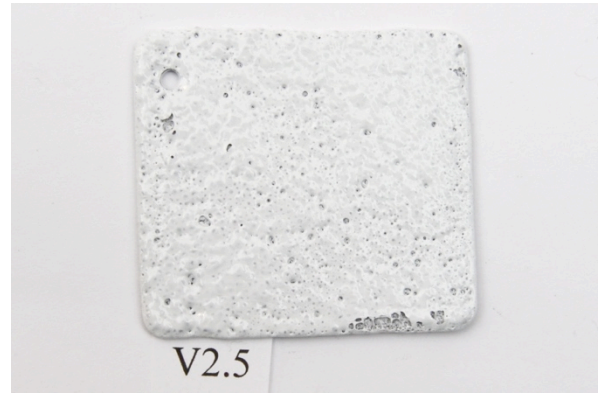
V2,3 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 9° radie ca 70mm.



V2.4 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 54x59mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 1,93g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,31g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V2.4 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 19° radie ca 20mm.



V2.5 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x52mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,72g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V2.5 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 21° radie ca 30mm.



V2.6

V2.6 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x52mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,05g, därefter **Thompson 533 White**, 1,21g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



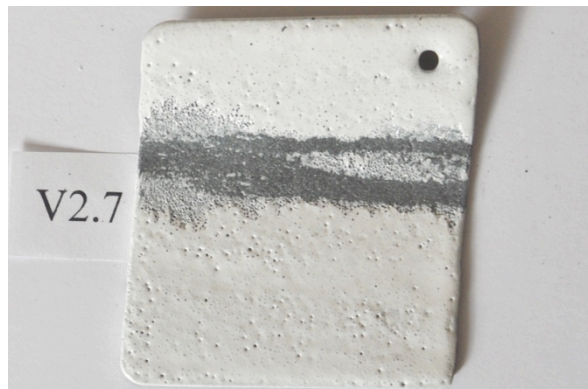
V2.6

V2.6 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 30° radie ca 15mm.



V2.7

V2.7 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x52mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,25g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V2.7

V2.7 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 20° radie ca 30mm.



V2.8 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x52mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 1,75g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



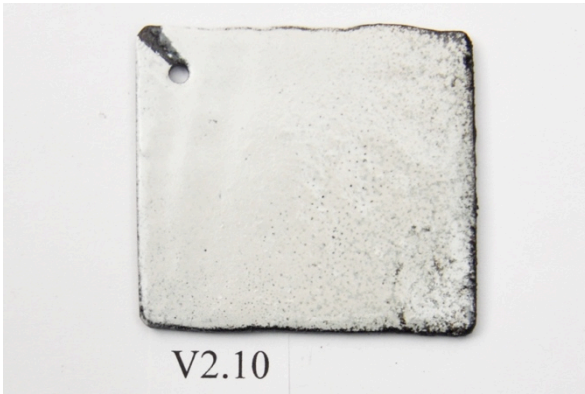
V2.8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 12° radie ca 100mm.



V2.9 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, yta med glödska. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneledad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.

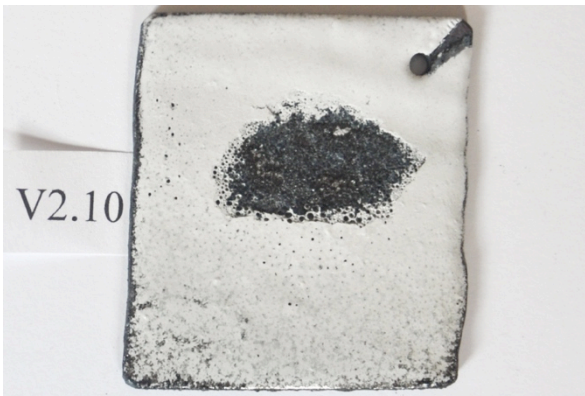


V2.9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 10° radie ca 50mm.



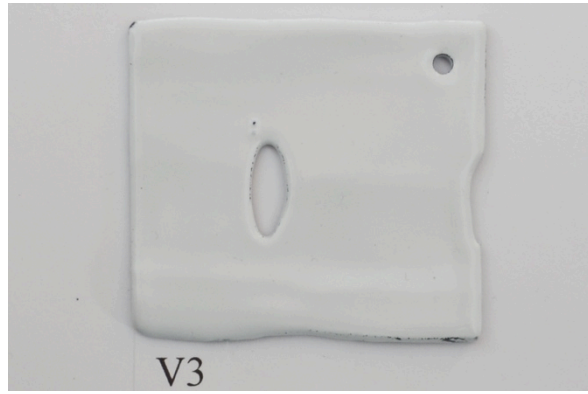
V2.10

V2.10 Varmvalsat stål, Smidd från plattstång, yta med glödska. Emaljerad med **WG Ball grundemalj och WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneledad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



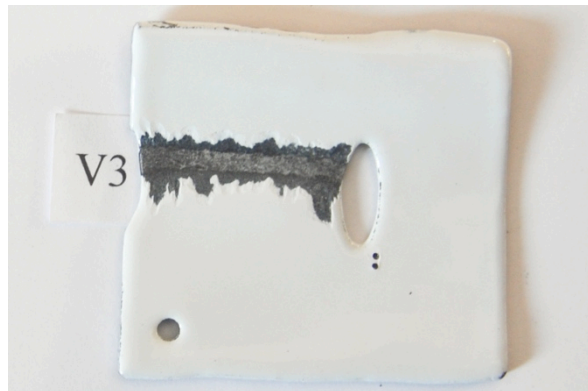
V2.10

V2.10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; ?. Böjd 0° radie ca ?mm.



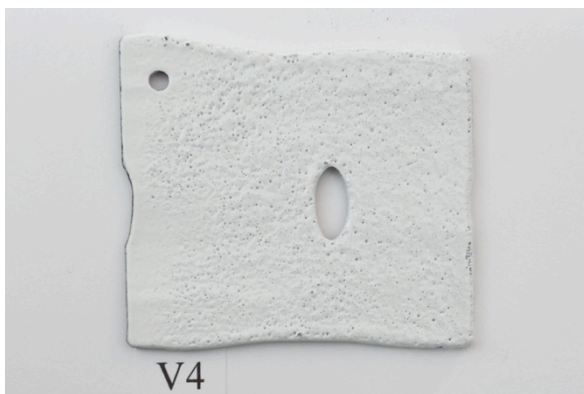
V3

V3 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 54x60mm. Emaljerad med **WG Ball grundemalj**, 1,69g, därefter **WG Ball 12541 White**, 1,24g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.

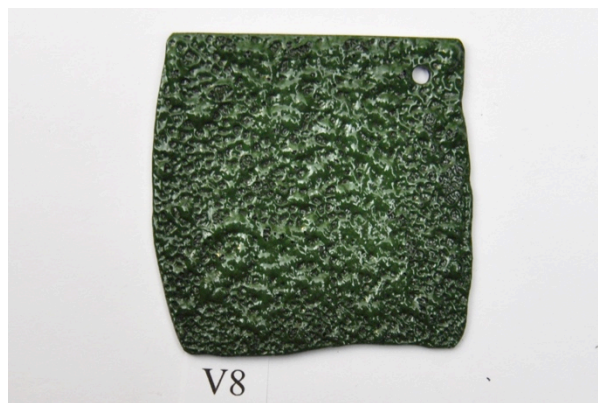


V3

V3 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 2. Böjd 9° radie ca 50mm.



V4 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 52x60mm. Emaljerad med **WG Ball 12541 White**, 1,39g. Våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerad torkning med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V8 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x60mm. Emaljerad med **WG Ball 12554 Dark Green**, 1,53g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta.



V4 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **4**. Böjd 10° radie ca 70mm.



V8 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 16° radie ca 100mm.



V9

V9 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 58x59mm. Emaljerad med **Skillinge grundemalj**, 2,46g, därefter **Skillinge Titanvit**, 1,53g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



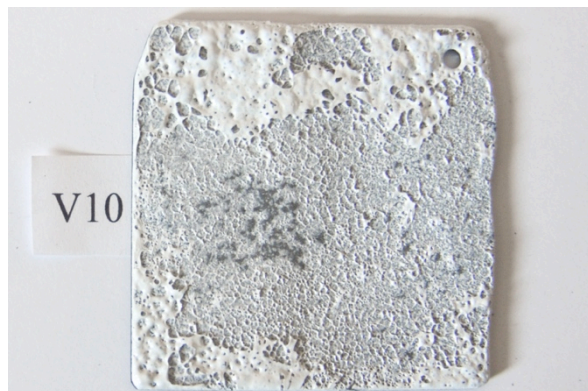
V9

A9 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **2**. Böjd 9° radie ca 100mm.



V10

V10 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 60x60mm. Emaljerad med **Skillinge Titanvit**, 1,97g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V10

V10 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3?** . Böjd 0° radie ca ?mm.



V11 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x60mm. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16**, 1,34g, därefter **Thompson 533 White**, 1,44g. Båda lagren är våtsprutade med 0,8 munstycke och forcerat torkade med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



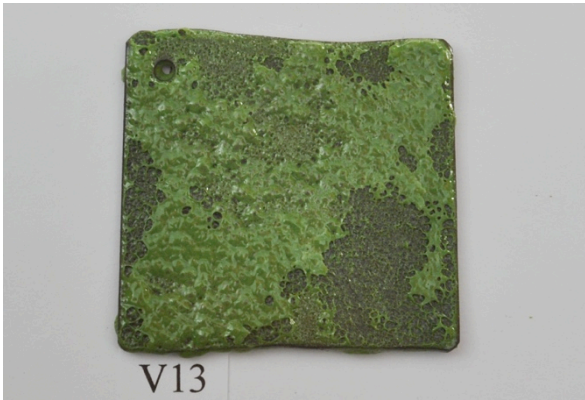
V11 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 30° radie ca 15mm.



V12 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 57x60mm. Emaljerad med **Thompson 533 White**, 2,71g. Emaljen är våtsprutad med 0,8 munstycke och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



V12 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **?**. Böjd 3° radie ca ?mm.



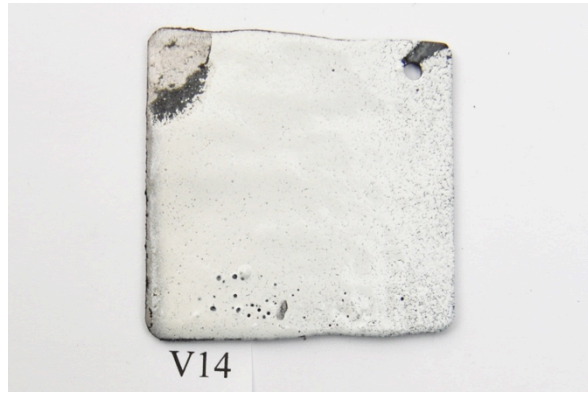
V13

V13 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, Hela ytan **blästrad** med kiselkarbid före emaljering, 59x60mm. Emaljerad med **Thompson 791 Hunter Green**, 1,87g. Emaljen är penselapplicerad våt och forcerat torkad med värmeplatta. Bränd i Naber elugn i 4min med S 820°C.



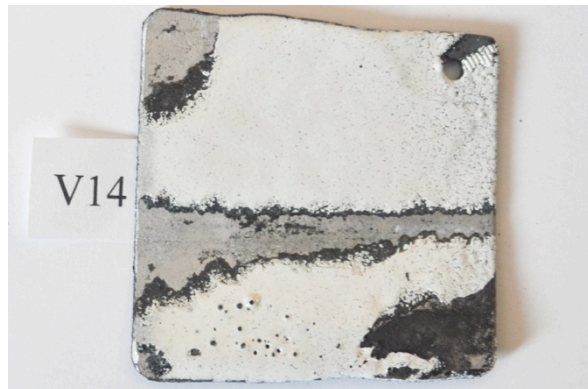
V13

V13 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; ?. Böjd 2° radie ca ?mm.



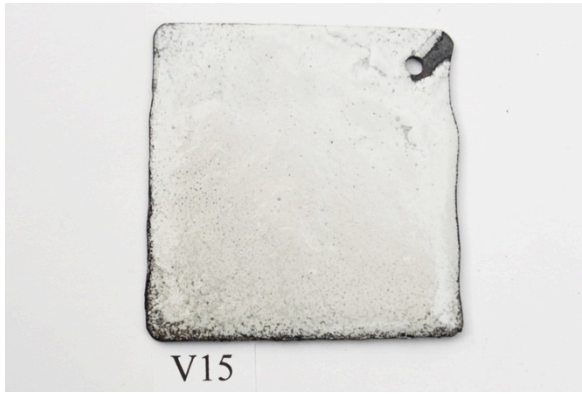
V14

V14 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång, yta med glödska. Emaljerad med **Thompson grundemalj GC-16 och Thompson 534 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



V14

V14 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; 4. Böjd 8° radie ca 30mm.



V15 Varmvalsat stål, Smidd från fyrkantstång. Smidd från rundstång, yta med glödska. Emaljerad med **WG Ball grundemalj** och **WG Ball 12541 White**. Emaljen är torrströdd med sikt på varmt stål. Därefter är stålbiten med emaljen värmd i propaneldad smidesugn tills emaljskiktet precis har smält ut. Temperatur i ugnen ca 990°C.



V15 Knäckt, Institute of Vitreous Enamellers visuell Klass; **3**. Böjd 6° radie ca 100m

Första versionen av testprotokollet.

Testprotokoll emalj på stål

Provbit nummer:

Typ av stål: Kallvalsad standard stål Armco Purfe

Badkarsplåt Skillinge emalj Glödd avfettad lätt slipad

renslipad glödd yta

Storlek i mm:

Kommentar:

Bränning nummer:

Vikt före emaljering:

Vikt efter påföring av emalj:

Emalj typ: WG Ball Thompson Enamel Skillinge emalj

Grundemalj Nummer:

Applicerings metod: Torr siktning Kall Varm våt

Varm eller Kall jigg i ugnen

Temperatur i ugnen före isättning: Emko: Fluke:

Start tid: Slut tid: Bränn tid:

Max temp under bränning: Emko: Fluke:

Resultat:

Sista och femte versionen av testprotokollet

Testprotokoll emalj på stål version 5

Provbit nummer:

Typ av stål: Kallvalsad standard stål Armco Purfe Gammalt staket
 Varmvalsad serie 1 Varmvalsad serie 2 Badkarsplåt Skillinge emalj
 Armeringsjärn Fjäderstål

Glödd avfettad lätt slipad renslipad glödd yta Blästrad

Avfettad med: lacknafta rödsprit

Storlek i mm:

Bränning nummer: Kommentar:

Vikt före emaljering:

Vikt efter påföring av emalj:

Emalj typ: WG Ball Thompson Enamel Skillinge emalj Grundemalj.

Emalj Nummer:

Appliceringsmetod: Torr siktning Kall Varm våt pensel spruta 0.8

Varm eller Kall jigg i ugnen Bränd i gasässja Elugn naber

Inställd temperatur på ugnstyrning S value: °C

Temperatur i ugnen före isättning: Emko: °C Fluke: °C

Start tid: Slut tid: Bränn tid:

Max temp under bränning: Emko: °C Fluke: °C

Knäckt prov. Klass enligt The Insitute of Vitreous Enamellers 1-5

Resultat: