PENGUNAAN STEEL GRIT G25 PADA SANDBLASTING BAJA KARBON RENDAH JIS-G3101-SS400

Muslimin¹, Azam Milah Muhamad

Program Studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

e-mail: ¹muslimin@mesin.pnj.ac.id

ABSTRACT

Sandblasting is an abrasive particles shooting to material surface for cleaning dust, paint, and rust, along as increasing material surface structure quality for coating, painting and other adhesive process. Al_2O_3 and steel grit are the most abrasive particles used in this process. Al_2O_3 is reusable particle inspite of more expensive and producing more dust. On the other hand, steel grit is cheaper and producing less dust. This article focuses on the use of the new and the reused steel grit G25 in sandblasting process of construction material low carbon steel. The objective is to study the effect of the new and reused abrasive material steel grit in sandblasting process on the surface quality. The methods of this experiments are comparing the surface quality of sandblasting process of new and once reused steel grit G25 using the same experimental parameters. Fixed parameter in this experiment is the nozzle pressure, 5 bar, while the independent variables are process distance (15 cm, 25 cm, and 30 cm) and the process time (25 s, 45 s, 120 s). Testing analyses in this experiments are roughness test ASTM D7127-13 and coating thickness test ASTM D-7091. Result of the experiment are coating thickness result are the highest 120 μm and the least 94,14 μm for the new steel grit, while 89,88 μm and 58,58 μm the highest and least for the once used steel grit. Highest roughness result for the new steel grit are 21,4 μm and once used steel grit 17,8 μm , while the least rough are 18,1 μm for the new steel grit and 3,452 μm for once used steel grit. The once used steel grit G25 still can be accepted as abrasive material in sandblasting process but with less good quality than the new one.

Key words : sandblasting, new steel grit G25, new steel grit G25, surface roughness.

ABSTRAK

Sandblasting adalah suatu proses penembakan partikel abrasif ke suatu permukaan untuk membersihkan debu, cat, dan karat, dan membuat tekstur permukaan material agar lapisan pelindung dapat menempel lebih baik. Partikel abrasif yang banyak digunakan dalam proses sandblasting adalah Al_2O_3 dan steel grit. Partikel Al_2O_3 memiliki ketahanan abrasif yang tinggi, tetapi harganya lebih mahal dan menghasilkan debu proses lebih banyak. Sedangkan, steel grit harganya lebih murah dan sedikit menghasilkan debu proses. Penelitian ini berfokus pada penggunaan material abrasif steel grit G25 baru dan pemakaian ulang untuk proses sandblasting baja karbon rendah untuk material konstruksi. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh penggunaan steel grit G25 dan penggunaan ulangnya terhadap kualitas permukaan hasil sandblasting. Metode yang digunakan, yaitu dengan membandingkan hasil proses sandblasting dengan partikel steel grit G25 baru dan partikel steel grit G25 pemakaian ulang (1 kali pemakaian) dalam parameter uji yang sama. Parameter tetap yang digunakan yaitu tekanan nozzle sebesar 5 bar, sedangkan variabel bebasnya yaitu jarak (15 cm, 25 cm, dan 30 cm) dan waktu penembakan (25 detik, 45 detik, dan 120 detik). Analisis pengujian yang digunakan adalah uji kekasaran ASTM D7127-13 dan uji ketebalan cat ASTM D7091. Nilai ketebalan cat tertinggi steel grit baru 120 μm , steel grit ulang 89,88 μm , dan terendah steel grit baru 94,14 μm , steel grit ulang 58,58 μm . Nilai kekasaran tertinggi steel grit baru 21,4 μm , steel grit ulang 17,8 μm , dan terendah steel grit baru 18,1 μm , steel grit ulang 3,452 μm . Penggunaan steel grit G25 penggunaan baru lebih baik dibandingkan dengan penggunaan ulangnya, dengan hasil pengujian steel grit baru yang lebih tinggi dengan penggunaan ulang.

Katakunsi : sandblasting, steel grit G25 baru, Steel grit G25 sekali pakai, kekasaran permukaan.

PENDAHULUAN

Sistem pelapisan perlindungan permukaan yang baik untuk memaksimalkan performa suatu material sangat dibutuhkan [2], [1]. Sifat permukaan material seperti kekuatan kelekatan pelapis perlindungan dan ketahanan korosinya memiliki peran penting terhadap ketahanan komponen tersebut. Baja struktural, tangki, badan kapal, perpipaan baja, dan elemen mesin lainnya adalah contoh aplikasinya [2], [2], [5]. Tuntutan tersebut mengharuskan dikembangkan metode perekayasa pelapisan perlindungan yang efektif dan efisien, sehingga dapat memperpanjang umur lapisan perlindungan, ketahanan korosi, tetapi dengan biaya yang murah. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan lapisan perlindungan tersebut adalah proses *grit blasting* atau *sandblasting*.

Sandblasting biasanya diistilahkan dengan abrasif blasting. *Sandblasting* adalah sebuah proses yang menggunakan tekanan udara untuk mendorong media abrasif pada kecepatan yang sangat tinggi untuk membersihkan permukaan material seperti karat, tumpahan cat, dan oli [1]. Perlakuan ini dapat dilakukan pada material permukaan yang berbahan dasar logam dan non logam [2], [4]. Tujuan lain dari *sandblasting* adalah untuk membuat profil (kekasaran) pada permukaan metal sehingga cat dapat lebih melekat dan dapat meningkatkan kekerasan [2], [1], [5], [5]. *Sandblasting* menggunakan abrasif material sebagai penghilang kotoran pada permukaan material [1].

Tumbukkan abrasif material ke permukaan material dengan kecepatan relatif tinggi mengakibatkan terjadinya deformasi plastis pada permukaan material sehingga mengakibatkan

terjadinya perubahan topografi permukaan material atau perubahan kualitas permukaan. Besarnya perubahan kualitas permukaan bergantung pada tekanan semprotan, jarak penumbukkan dan waktu penumbukkan. Pada penelitian terdahulu, penelitian yang dilakukan oleh B. Arivianto, et al. mempunyai tujuan untuk mengetahui penggunaan material abrasif (Al_2O_3) yang digunakan terus menerus pada proses *sandblasting* [1]. Penelitian Bin Maio, et al. menggunakan material abrasif Al_2O_3 yang baru dengan diameter 0.35 [mm] [4]. Pada penelitian M. Multigner, et al. menggunakan 2 material abrasif baru yaitu $\text{ZrO}_2 + \text{SiO}_2$ (125 [μm]-250 [μm]) dan Al_2O_3 (750 [μm]) [5]. Disamping kelebihan dari Al_2O_3 yang dapat didaur ulang, material ini memiliki kelemahan yaitu menghasilkan debu yang sangat banyak dan harga yang sangat mahal, hal ini dapat sangat merugikan [5].

Oleh karena itu, sebagai pemecahan solusi ini material abrasif yang digunakan diganti menjadi *steel grit* G25. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan *steel grit* G25 dan penggunaan ulangnya terhadap hasil *sandblasting*, sehingga *steel grit* yang digunakan dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh penggunaan *steel grit* G25 baru dan penggunaan ulang terhadap kekasaran permukaan dan ketebalan cat SS400.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan beberapa langkah, yaitu:

1. Persiapan sampel dilakukan dengan memotong material SS400 dengan menggunakan CNC *Laser Cutting* pada PT. Gunung Baja Konstruksi
2. Proses *sandblasting* dilakukan dengan membandingkan pemakaian *steel grit* G25 baru dan *steel grit* G25 pemakaian ulang dengan variabel bebas dan parameter yang digunakan adalah:
 - Parameter bebas dengan menggunakan *steel grit* G25 baru, yaitu:
 - a. Jarak Penembakkan : 15 cm, 25 cm, dan 30 cm
 - b. Waktu Penembakkan : 25 detik, 45 detik, dan 120 detik
 - Parameter bebas dengan menggunakan *steel grit* G25 penggunaan ulang yaitu:
 - a. Jarak Penembakkan : 8 cm, 15 cm, dan 25 cm
 - b. Waktu Penembakkan : 25 detik, 45 detik, dan 120 detik
 - Parameter tetap yang digunakan adalah material SS400, tekanan

kompressor 5 bar, dan sudut penembakkan sebesar 90°

3. Sampel dilakukan uji kekasaran permukaan di Laboratorium Metrologi Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) BATAN, Serpong
4. Sampel dilakukan uji ketebalan cat di PT. Gunung Baja Konstruksi, Cibitung

HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan hasil proses EDM dilakukan test pada Laboratorium Metrologi Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN, Serpong. Alat uji yang digunakan adalah Taylor Hobson Sutronic 25. Pengujian kekasaran dilakukan dengan meletakkan benda kerja, kemudian atur *dial indicator* agar stabil saat pengambilan data, masukan data panjang dari sampel untuk diukur kekasarannya, hasil dari kekasaran langsung terlihat pada alat uji. Pengujian dilakukan sebanyak 18 sampel dengan membandingkan penggunaan *steel grit* G25 baru dan penggunaan ulang yang ditunjukkan pada Tabel. 1:

Tabel 1. Hasil pengujian kekasaran

Steel Grit	Jarak [cm]	Waktu [detik]	Pengujian Kekasaran [μm]					Rata-rata [μm]
			I	II	III	IV	V	
Baru	15	25	20,70	20,8	20,9	20,9	20,9	20,8
	15	45	21,30	21,1	21,3	21,4	21,4	21,3
	15	120	21,30	21,2	21,5	21,5	21,4	21,4
	25	25	18,70	18,7	18,7	18,6	18,4	18,6
	25	45	20,00	19,8	20,2	20,2	20,1	20,1
	25	120	20,20	20,3	20,2	20,2	20,1	20,2
	30	25	18,10	18,1	18,1	18,1	17,9	18,1
	30	45	19,80	19,4	19,5	19,6	19,7	19,5
	30	120	20,30	20,2	20,0	19,4	19,4	19,9
Penggunaan Ulang	8	25	15,70	15,9	16,1	16,0	16,0	15,9
	8	45	16,50	16,6	16,5	16,4	16,6	16,5
	8	120	17,70	17,8	17,8	17,9	17,7	17,8
	15	25	6,30	6,34	6,16	6,19	6,23	6,244

	15	45	7,08	7,06	7,07	7,09	7,09	7,078
	15	120	8,67	8,68	8,69	8,67	8,68	8,678
	25	25	3,39	3,43	3,44	3,48	3,52	3,452
	25	45	5,76	5,75	5,75	5,76	5,78	5,760
	25	120	7,06	7,03	7,03	7,01	7,03	7,032

Hasil Pengujian Kekasaran pada Steel Grit G25 Baru

Gambar. 1 menunjukkan hasil kekasaran permukaan dengan menggunakan *steel grit* G25 baru. Dengan variabel bebas jarak penembakkan 15 cm; 25 cm; dan 30 cm dan waktu penembakkan 25 detik; 45 detik; dan 120 detik. Pada Gambar. 1 terlihat bahwa garis mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jarak penembakkan. Hal ini dikarenakan, semakin jauh proses *sandblasting* dilakukan, maka proses penembakkan dengan *steel grit* G25 baru menghasilkan momentum tumbukkan yang kecil dan menyebabkan permukaan yang dihasilkan menjadi halus. Pada variabel bebas waktu penembakkan terjadi peningkatan. Hal ini dikarenakan, semakin lama proses penembakkan, proses penembakkan dengan *steel grit* G25 baru menghasilkan momentum tumbukkan yang besar dan akan menghasilkan permukaan yang kasar. Kekasaran permukaan tertinggi terjadi pada saat jarak 15 cm dan waktu 120 detik dengan ketebalan cat 21,4 μm dan terendah terjadi pada saat jarak 30 cm dan waktu 25 detik dengan ketebalan cat 18,1 μm .

Gambar1. Hasil kekasaran permukaan *Steel Grit* G25 baru

Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan pada Steel Grit G25 Penggunaan Ulang

Gambar. 2 dibawah menunjukkan hasil kekasaran permukaan dengan menggunakan *steel grit* G25 ulang. Dengan variabel bebas jarak penembakkan 8 cm; 15 cm; dan 25 cm dan waktu penembakkan 25 detik; 45 detik; dan 120 detik. Pada Gambar. 2 terlihat bahwa garis mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jarak penembakkan. Hal ini dikarenakan, semakin jauh proses *sandblasting* dilakukan, maka proses penembakkan dengan *steel grit* G25 ulang menghasilkan momentum tumbukkan yang kecil dan menyebabkan permukaan yang dihasilkan menjadi halus. Pada variabel bebas waktu penembakkan terjadi peningkatan. Hal ini dikarenakan, semakin lama proses penembakkan, proses penembakkan dengan *steel grit* G25 ulang menghasilkan momentum tumbukkan yang besar dan akan menghasilkan permukaan yang kasar.

Kekasaran permukaan tertinggi terjadi pada saat jarak 8 cm dan waktu 120 detik dengan ketebalan cat 17,8 μm dan terendah terjadi pada saat jarak 25 cm dan waktu 25 detik dengan ketebalan cat 3,452 μm .

Gambar 2. Hasil kekasaran permukaan *Steel Grit* G25 penggunaan ulang

Berdasarkan grafik penggunaan *steel grit* G25 baru dan penggunaan ulang terhadap kekasaran permukaan, terdapat persamaan dalam analisa terhadap jarak penembakkan dan waktu penembakkan, yaitu semakin tinggi jarak penembakkan, maka kekasaran yang didapat rendah. Hal ini dikarenakan, semakin jauh proses *sandblasting* dilakukan, maka proses penembakkan dengan *steel grit* G25 menghasilkan momentum tumbukkan yang kecil dan menyebabkan permukaan material yang dihasilkan menjadi halus. Semakin lama waktu penembakkan, maka kekasaran yang didapat tinggi. Hal ini dikarenakan, semakin lama proses

penembakkan, maka proses penembakkan dengan *steel grit* G25 ulang menghasilkan momentum tumbukkan yang besar dan akan menghasilkan permukaan yang kasar. Namun, hasil penggunaan *steel grit* G25 penggunaan ulang belum setara dengan *steel grit* baru. *Steel grit* G25 baru lebih baik dibandingkan *steel grit* G25 penggunaan ulang. Hal ini dikarenakan, *steel grit* G25 baru masih dalam kondisi yang belum dipakai dan ketika ditembakkan ke permukaan, *steel grit* G25 baru ini akan mengalami tumbukkan secara sempurna. Sedangkan, *steel grit* G25 ulang sudah dalam kondisi telah pakai dan ketika ditembakkan ke permukaan, *steel grit* G25 ulang ini tidak akan mengalami tumbukkan secara sempurna karena bentuk dari permukaan *steel grit* ini sudah tidak tajam seperti kondisi baru.

Hasil Uji Ketebalan Cat

Berdasarkan uji ketebalan cat, proses *sandblasting* menggunakan dua material abrasif yaitu penggunaan baru dan ulang. Pengujian dilakukan di PT. Gunung Baja Konstruksi, Cibitung menggunakan alat ukur Elcometer 456. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan *dial indicator* pada permukaan sampel yang telah dilakukan proses pengecatan, kemudian hasil dari ketebalan cat akan tertera pada layar alat uji. Hasil pengujian dijelaskan dalam Tabel. 2.

Tabel. 2 Hasil pengujian ketebalan cat

Steel Grit	Jarak [cm]	Waktu [detik]	Pengujian [μm]					Rata-rata
			1	2	3	4	5	
Baru	15	25	110,4	109,8	109,7	110,2	110,4	110,1
	15	45	117,4	117,7	117,6	115,9	116,4	117
	15	120	120,2	120	120,2	119,8	119,8	120

	25	25	106,3	105,6	105,6	105,6	105,2	105,66
	25	45	107,1	107	107,3	107,6	107	107,2
	25	120	109,8	110,2	110	110	110,4	110,08
	30	25	95,6	93,8	93,4	93,8	94,1	94,14
	30	45	97,4	97,9	97,7	98,1	98,6	97,94
	30	120	98,1	98,6	99,2	99,2	99	98,82
Penggunaan Ulang	8	25	72	68,4	66,5	62,4	68	67,46
	8	45	74	78,6	77,3	77,8	77	76,94
	8	120	90,4	90,2	89	89,8	90	89,88
	15	25	67,8	66,3	66,1	65,2	65	66,08
	15	45	70	74	72,1	72,4	73,9	72,48
	15	120	81,3	82,2	81,1	81	81,9	81,5
	25	25	59	59,3	58,6	58,1	57,9	58,58
	25	45	67,8	66,3	67	65,3	65,6	66,4
	25	120	71,7	73,4	72,4	72,1	71	72,12

Hasil Pengujian Ketebalan Cat pada Steel Grit G25 Baru

Gambar. 3 menunjukkan hasil ketebalan cat dengan menggunakan *steel grit* G25 baru. Dengan variabel bebas jarak penembakkan 15 cm; 25 cm; dan 30 cm dan waktu penembakkan 25 detik; 45 detik; dan 120 detik. Pada Gambar. 3 dibawah terlihat bahwa garis mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jarak penembakkan. Seperti analisa pada pengujian kekasaran permukaan, hasil yang didapat pada permukaan material akan halus seiring bertambahnya jarak penembakkan. Setelah proses *sandblasting*, permukaan material ini dilakukan proses pengecatan. Proses *sandblasting* akan menyebabkan terbentuknya profil kekasaran pada permukaan material

yang berupa lembah-bukit pada permukaan material dan berpengaruh terhadap hasil dari pengecatan.

Jika permukaan material setelah proses *sandblasting* halus, maka cat yang menempel pada permukaan akan tipis. Namun, berbanding terbalik pada variabel waktu penembakkan, semakin lama waktu *sandblasting*, maka hasil kekasaran permukaan akan semakin kasar. Karena bentuk lembah-bukit dari profil kekasaran tersebut akan meningkatkan kuantitas cat yang akan menempel pada permukaan material. Ketebalan cat tertinggi terjadi pada saat jarak 15 cm dan waktu 120 detik dengan ketebalan cat 120 μm dan terendah terjadi pada saat jarak 30 cm dan waktu 25 detik dengan ketebalan cat 98,82 μm .

Gambar 3. Hasil ketebalan cat *Steel Grit G25* baru

Hasil Pengujian Ketebalan Cat pada *Steel Grit G25* Penggunaan Ulang

Gambar. 4 menunjukkan hasil ketebalan cat dengan menggunakan *steel grit G25* penggunaan ulang. Dengan variabel bebas jarak penembakkan 8 cm; 15 cm; dan 25 cm dan waktu penembakkan 25 detik; 45 detik; dan 120 detik. Pada Gambar. 4 dibawah terlihat bahwa garis mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jarak penembakkan. Seperti analisa pada pengujian kekasaran permukaan, hasil yang didapat pada permukaan material akan halus seiring bertambahnya jarak penembakkan. Setelah proses *sandblasting*, permukaan material ini dilakukan proses pengecatan. Proses *sandblasting* akan menyebabkan terbentuknya profil kekasaran pada permukaan material yang berupa lembah-bukit pada permukaan material dan berpengaruh terhadap hasil dari pengecatan.

Jika permukaan material setelah proses *sandblasting* halus, maka cat yang menempel pada permukaan akan tipis. Namun, berbanding terbalik pada variabel waktu penembakkan, semakin lama waktu *sandblasting*, maka hasil kekasaran permukaan akan semakin kasar. Karena bentuk lembah-bukit dari profil kekasaran tersebut akan meningkatkan kuantitas cat yang akan

menempel pada permukaan material. Ketebalan cat tertinggi terjadi pada saat jarak 8 cm dan waktu 120 detik dengan ketebalan cat 89,88 µm dan terendah terjadi pada saat jarak 25 cm dan waktu 25 detik dengan ketebalan cat 58,58 µm.

Gambar 4. Hasil ketebalan cat *Steel Grit G25* penggunaan ulang

Berdasarkan grafik penggunaan *steel grit G25* baru dan penggunaan ulang bahwa terhadap ketebalan cat, terdapat persamaan dalam analisa jarak penembakkan dan waktu penembakkan, yaitu semakin tinggi jarak penembakkan, maka ketebalan cat yang dihasilkan tipis. Hal ini dikarenakan, sesuai analisa pada pengujian kekasaran permukaan, hasil yang didapat pada permukaan material akan halus seiring bertambahnya jarak penembakkan. Setelah proses *sandblasting*, permukaan material ini dilakukan proses pengecatan. Proses *sandblasting* akan menyebabkan terbentuknya profil kekasaran pada permukaan material yang berupa lembah-bukit pada permukaan material dan berpengaruh terhadap hasil dari pengecatan. Jika permukaan material setelah proses *sandblasting* halus, maka cat yang menempel pada permukaan akan tipis. Namun, berbanding terbalik pada variabel waktu penembakkan, semakin lama waktu *sandblasting*, maka hasil kekasaran permukaan akan semakin kasar. Karena bentuk lembah-bukit dari profil kekasaran tersebut akan

meningkatkan kuantitas cat yang akan menempel pada permukaan material. Dapat dikatakan bahwa, *steel grit* G25 baru lebih baik dibandingkan *steel grit* G25 penggunaan ulang. Hal ini dikarenakan, *steel grit* G25 baru masih dalam kondisi yang belum dipakai dan ketika ditembakkan ke permukaan, *steel grit* G25 baru ini akan mengalami tumbukkan secara sempurna. Sedangkan, *steel grit* G25 ulang sudah dalam kondisi telah pakai dan ketika ditembakkan ke permukaan, *steel grit* G25 ulang ini tidak akan mengalami tumbukkan secara sempurna karena bentuk dari permukaan *steel grit* ini sudah tidak tajam seperti kondisi baru.

KESIMPULAN

Penggunaan *steel grit* G25 baru lebih baik dibandingkan penggunaan ulangnya, hasil pengujian pada kekasaran permukaan dan ketebalan cat yang lebih tinggi dibandingkan dengan *steel grit* G25 penggunaan ulang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Gunung Baja Konstruksi, yang telah menyediakan fasilitas alat dan tempat untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ArifviantoB., S. K. A. Wibisono, and M. Mahardika, 2012, "Influence of Grit Blasting Treatment using Steel Slag Balls on The Subsurface Microhardness, Surface Characteristics and Chemical Composition of Medical Grade 316L Stainless Steel," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 210, pp. 176–182.
- [2] Hughes R. T., 1976, *Abrasive Blasting Operations*.
- [3] KhorasanizadehS., 2010, "The Effects of Shot and Grit Blasting Process Parameters on Steel Pipes Coating Adhesion," *Int. J. Mech. Aerospace, Ind. Mechatron. Manuf. Eng.*, vol. 4, no. 6, pp. 513–521.
- [4] MiaoB., L. Song, Y. Chai, K. Wei, and J. Hu, 2017, "The Effect of Sand Blasting Pretreatment on Plasma Nitriding," *Vaccum*, vol. 136, pp. 46–50.
- [5] McLeod D., 2008, "Better Blasting".
- [6] Multigner M. et al., 2010, "Superficial Severe Plastic Deformation of 316 LVM Stainless Steel through Grit Blasting: Effects on its Microstructure and Subsurface Mechanical Properties," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 205, no. 7, pp. 1830–1837.
- [7] ParasharS. and A. K. Parashar, 2015, "Presurface Treatment of All Materials by Sandblasting," *Int. J. Adv. Eng. Res. Dev.*, pp. 1083–1088.
- [8] Valášek P. and M. Müller, 2016, "Effects of Grit Blasting on Surface Properties of Steel Substrates," *Manuf. Technol.*, vol. 16, no. 6, pp. 1371–1375.
- [9] WuM., M. Chen, S. Zhu, and F. Wang, 2014, "Effect of Sand Blasting on Oxidation Behavior of K38G Superalloy at 1000 ° C," *Corros. Sci.*, pp. 1–7.